

## RESUMEN

En la actualidad miles de personas usan el GLP, gases licuados del petróleo, y dependen de él para aplicaciones muy variadas. Se utiliza en la industria, en el transporte o como combustible de calefacción, entre otros. También es un buen complemento de las fuentes y tecnologías renovables, y combinándolo con la solar, por ejemplo, permite reducir las emisiones en sistemas de calefacción y generación de agua caliente sanitaria.

La realización de este proyecto es una necesidad real, pues nace de la petición que un cliente ha realizado a la ingeniería en la que trabajo, con la idea de solucionar el suministro de energía de las zonas aisladas a las que por problemas de infraestructuras no les llegan las canalizaciones de gas natural.

Este trabajo se centra en el diseño de una instalación de GLP en estructuras autoportantes tipo skid, que está formada por una central de vaporización-regulación y una central térmica modular necesaria para el funcionamiento del conjunto. Y principalmente se utilizará para el autoabastecimiento de gas en usos domésticos e industriales.

En primer lugar se explican las características físicas y químicas del GLP, los tipos de vaporización que se pueden realizar para gasificarlo y se detallan las especificaciones del cliente. El siguiente paso es diseñar la instalación y la distribución de la canalización. Se describen los elementos que van a formar parte de la central de vaporización y de la central térmica modular, y se explica el funcionamiento y la función de cada uno de ellos dentro de la instalación. Por último, se seleccionan dentro de cada elemento, el modelo que se va a instalar aportando los cálculos y las justificaciones necesarias, en cada caso.

Asimismo, se realiza el presupuesto y el estudio de viabilidad económica, que refleja el coste total de la instalación durante todo su ciclo de vida útil. Se finaliza con un estudio de impacto medioambiental que permite conocer los aspectos más importantes que deben ser tenidos en cuenta durante su fase de explotación y desmantelamiento.





# SUMARIO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>7</b>
1.1. Abreviaciones, símbolos y acrónimos.....	7
1.2. Normativa y reglamentación .....	10
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
2.1. Objetivos del proyecto.....	13
2.2. Alcance del proyecto.....	13
<b>3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>14</b>
3.1. El GLP como combustible.....	14
3.2. Usos del GLP .....	15
3.2.1. Agricultura.....	15
3.2.2. Automoción.....	15
3.2.3. Calefacción .....	16
3.2.4. Cocina.....	16
3.2.5. Industria .....	16
3.3. Características del GLP .....	17
3.3.1. Características químicas.....	17
3.3.2. Características físicas.....	17
3.4. Familia de gases .....	21
3.5. Tipos de vaporización de GLP.....	22
3.5.1. Vaporización natural .....	22
3.5.2. Vaporización forzada .....	23
<b>4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	<b>24</b>
4.1. Especificaciones instalación del vaporizador.....	24
4.2. Especificaciones instalación de la parte caldera .....	25
4.3. Especificaciones comunes a ambas instalaciones.....	26
<b>5. EMPLAZAMIENTO</b>	<b>28</b>
5.1. Clases de emplazamientos.....	28
5.1.1. Zonas de emplazamientos Clase I .....	28
5.1.2. Zonas de emplazamientos Clase II .....	29



## **6. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CENTRAL DE VAPORIZACIÓN** 30

6.1. Equipo vaporizador.....	30
6.1.1. Introducción .....	30
6.1.2. Tipos de vaporizadores .....	30
6.1.3. Diferencias de los candidatos .....	33
6.1.4. Ventajas e inconvenientes de los candidatos .....	36
6.1.5. Selección del vaporizador .....	36
6.1.6. Modelo del vaporizador .....	37
6.2. Cálculo de conducciones.....	40
6.3. Conducción de fase líquida de entrada al vaporizador .....	51
6.3.1. Válvulas de corte .....	52
6.3.2. Filtro .....	53
6.3.3. Válvulas de seguridad .....	53
6.3.4. Electroválvula de entrada al vaporizador .....	57
6.4. Conducción de fase gaseosa previa a la regulación.....	58
6.4.1. Válvulas de corte .....	59
6.4.2. Válvulas de seguridad .....	60
6.4.3. Manómetros y válvulas de aguja .....	63
6.4.4. Calderines de condensados .....	64
6.5. Equipo de regulación .....	65
6.5.1. Tipos de reguladores .....	67
6.5.2. Elección del equipo de regulación .....	68
6.6. Conducción de fase gaseosa tras la regulación .....	69
6.6.1. Válvulas de corte .....	71
6.6.2. Válvulas de seguridad .....	72
6.6.3. Manómetros y válvulas de aguja .....	73
6.6.4. Decantador .....	74
6.7. Circuito de suministro de gas a caldera .....	75
6.7.1. Válvulas de corte .....	75
6.7.2. Regulador de presión .....	76
6.8. Colector de venteo.....	76
6.9. Picajes .....	77
6.10. Alumbrado interior de la caseta y de emergencia.....	77
6.11. Pica de tierra.....	77

## **7. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CENTRAL TÉRMICA MODULAR** 78



7.1. Caldera.....	78
7.1.1. Introducción .....	78
7.1.2. Tipos de calderas .....	78
7.1.3. Elección de la caldera.....	80
7.2. Cálculo conducción suministro agua .....	82
7.3. Conducción suministro agua.....	84
7.3.1. Válvulas de corte .....	85
7.3.2. Termostato.....	85
7.3.3. Bombas de recirculación .....	86
7.3.4. Válvulas antiretorno .....	86
7.3.5. Vaso de expansión .....	87
7.3.6. Válvula de seguridad .....	88
7.3.7. Grupo de llenado de la caldera.....	89
7.4. Conducción suministro gas a caldera .....	89
7.5. Contador de gas.....	90
<b>8. ENVOLVENTE .....</b>	<b>91</b>
<b>9. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>95</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>96</b>
Referencias bibliográficas .....	96
Bibliografía complementaria .....	97
<b>ANEXO A: PRESUPUESTO.....</b>	<b>99</b>
A.1. Presupuesto de trabajo.....	99
A.2. Presupuesto de equipos y software.....	100
A.3. Presupuesto de fabricación .....	100
A.4. Presupuesto final .....	107
<b>ANEXO B: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL .....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO C: ESPECIFICACIONES DEL PROPANO COMERCIAL .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO D: COMPROBACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS PARA UTILIZAR CON GLP .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO E .....</b>	<b>113</b>
E.1. Esquema de la central de vaporización .....	113



E.2. Esquema de la central térmica .....	115
E.3. Imagen tridimensional de la central de vaporización .....	117
E.4. Imagen tridimensional de la central térmica.....	118



# 1. GLOSARIO

A lo largo de la memoria descriptiva de este proyecto se utilizan una serie de nomenclaturas y abreviaturas que se describen a continuación para facilitar su comprensión.

## 1.1. Abreviaciones, símbolos y acrónimos

<b>A</b>	Sección neta de descarga de la válvula de seguridad
<b>a</b>	Porcentaje de superficie del depósito mojada que está en contacto con el GLP líquido
<b>BSP</b>	Rosca estándar para tubería británica (BSP por sus siglas en inglés, Rosca BSP cónica o BSP paralela)
<b>C</b>	Factor de eficiencia de la soldadura
<b>CE</b>	Conformidad europea
<b>C<sub>n</sub></b>	Coeficiente de calores específicos definido en función de la relación $n=C_p/C_v$ .
<b>C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub></b>	Fórmula general de los hidrocarburos
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	Molécula del propano
<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	Molécula del butano
<b>C<sub>p</sub></b>	Calor a presión constante
<b>C<sub>v</sub></b>	Calor a volumen constante
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>D</b>	Diámetro
<b>D<sub>e</sub></b>	Diámetro exterior teórico de la tubería
<b>D<sub>i</sub></b>	Diámetro interior de la tubería
<b>DN</b>	Diámetro nominal
<b>d<sub>c</sub></b>	Densidad corregida
<b>δ</b>	Densidad relativa
<b>d<sub>ro</sub></b>	Densidad relativa del fluido respecto al agua, a la temperatura de trabajo
<b>e</b>	Espesor mínimo de la tubería



<b>F</b>	Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento del conjunto
<b>GLP</b>	Gases licuados del petróleo
<b>h</b>	Altura
<b>H</b>	Entalpía
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>k</b>	Coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes del depósito
<b>K<sub>d</sub></b>	Coeficiente de descarga para el cálculo del diámetro de la tubería de descarga de las válvulas de seguridad
<b>K<sub>v</sub></b>	Coeficiente de corrección de viscosidad, utilizado para el cálculo del diámetro de la tubería de descarga de las válvulas de seguridad
<b>K<sub>p</sub></b>	Coeficiente de contrapresión utilizado para el cálculo del diámetro de la tubería de descarga de las válvulas de seguridad
<b>L</b>	Longitud
<b>L<sub>eq</sub></b>	Longitud equivalente
<b>m<sub>GLP</sub></b>	Caudal másico de GLP
<b>m<sub>agua</sub></b>	Caudal másico de agua
<b>M</b>	Peso molecular
<b>MOP</b>	Máxima presión de operación. Es la máxima presión a la que la instalación puede verse sometida de manera continuada en condiciones normales de operación, es decir, es aquella a la que puede operar una red de distribución.
<b>NC</b>	Normalmente cerrado
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrógeno
<b>NPT</b>	Rosca de tubería cónica nacional (NPT " <i>National Pipe Thread</i> " por sus siglas en inglés)
<b>P</b>	Presión
<b>P<sub>r</sub></b>	Presión reducida
<b>PCS</b>	Poder calorífico superior
<b>PCI</b>	Poder calorífico inferior





<b>PN</b>	Presión nominal
<b>P<sub>abs</sub></b>	Presión absoluta
<b>P<sub>atm</sub></b>	Presión atmosférica
<b>P<sub>c</sub></b>	Presión crítica
<b>P<sub>tara</sub></b>	Presión de tarado
<b>P<sub>u</sub></b>	Potencia útil de la caldera
<b>Q</b>	Caudal
<b>Q<sub>LV</sub></b>	Calor latente de vaporización
<b>Q<sub>vap</sub></b>	Capacidad nominal del vaporizador
<b>R</b>	Radio
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>S</b>	Superficie total del depósito
<b>T</b>	Temperatura del fluido
<b>T<sub>c</sub></b>	Temperatura crítica
<b>T<sub>e</sub></b>	Temperatura exterior del fluido
<b>T<sub>i</sub></b>	Temperatura interior del fluido
<b>T<sub>r</sub></b>	Temperatura reducida
<b>V</b>	Volumen
<b>VAC</b>	Tensión de corriente alterna
<b>v</b>	Velocidad del fluido dentro de la conducción
<b>W<sub>s</sub></b>	Índice de Woobe superior
<b>Z</b>	Factor de compresibilidad
<b>ρ</b>	Densidad
<b>σ<sub>e</sub></b>	Límite elástico mínimo especificado
<b>ν</b>	Volumen específico
<b>μ</b>	Viscosidad dinámica del fluido
<b>η</b>	Rendimiento de la instalación



## 1.2. Normativa y reglamentación

Son de aplicación la siguiente relación de Normas, Reglamentos y Especificaciones.

Norma NTP 342: Válvulas de seguridad (I): características técnicas.

Norma NTP 346: Válvulas de seguridad (II): capacidad de alivio y dimensionado.

Norma UNE 1063: Caracterización de tuberías según la materia de paso.

Norma UNE-EN 10208-2: Tubos de acero para tuberías de fluidos combustibles. Condiciones técnicas de suministro. Parte 2: Tubos clase B.

Norma UNE-EN 12517: Examen no destructivo de soldaduras. Examen radiográfico de uniones soldadas. Niveles de aceptación.

Norma UNE 23727: Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción.

Norma UNE 60002: Clasificación de los combustibles gaseosos en familias.

Norma UNE-EN 60079-10: Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos.

Norma UNE 60250: Instalaciones de suministro de gases licuados del petróleo (GLP) en depósitos fijos para su consumo en instalaciones receptoras.

Norma UNE 60302: Canalizaciones para combustibles gaseosos. Emplazamiento.

Norma UNE 60305: Canalizaciones para combustibles gaseosos. Zonas de seguridad y coeficientes de cálculo según el emplazamiento.

Norma UNE 60309: Canalizaciones para combustibles gaseosos. Espesores mínimos para tuberías de acero.

Norma UNE 60310: Canalizaciones de distribución de combustibles gaseosos con presión máxima de operación superior a 5 bar e inferior o igual a 16 bar.



Norma UNE 60311: Canalizaciones de distribución de combustibles gaseosos con presión máxima de operación hasta 5 bar.

Norma UNE 60601: Salas de máquinas y equipos autónomos de generación de calor o frío o para cogeneración, que utilizan combustibles gaseosos.

Norma UNE 60670: Instalaciones receptoras de gas suministradas a una presión máxima de operación (MOP) inferior o igual a 5 bar.

Reglamento electrotécnico para Baja Tensión, ITC-BT-29: Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.

Real Decreto RD 400/1996, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.

Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos. Orden de 18 de noviembre de 1974 y modificaciones por Orden 26/10/83, BOE 8/11/83 y Orden 6/7/84, BOE 23/7/84) y su Instrucciones Técnicas Complementarias.

Reglamento Técnico de Distribución y utilización de combustibles gaseosos (RD 919/2006, BOE de 04/09/2006) y sus instrucciones técnicas reglamentarias (ICG01 a ICG11).

Reglamento sobre instalaciones de almacenamiento de GLP en depósitos fijos para su consumo en instalaciones receptoras (O.M.I.E. 29/01/86. BOE 22/2/86).





## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. Objetivos del proyecto**

En el presente proyecto se exponen y describen los pasos seguidos para realizar el diseño de una instalación de gases licuados de petróleo en una estructura autoportante tipo skid. Dicha instalación está formada por una central de vaporización-regulación y una central térmica modular necesaria para el funcionamiento del conjunto. El objetivo principal es ofrecer una solución técnica que supere las especificaciones presentadas por un cliente distribuidor de GLP y poder solucionar el suministro de energía de las zonas aisladas a las que por problemas de infraestructuras no les llegan las canalizaciones de gas natural. Además de permitir que la empresa en la que trabajo disponga de este producto en su catálogo habitual de equipos y lo pueda sacar al mercado.

Dentro del proyecto, se diseñan los esquemas de ambas centrales y se realizan los cálculos necesarios para dimensionar la instalación. Se entra en el detalle de la explicación individual de cada uno de los elementos que las componen en cuanto a localización y funcionalidad dentro del conjunto, y se valoran las cotizaciones y prestaciones recibidas por varios proveedores para escoger los modelos que se van a instalar. También se realiza un diseño orientativo mediante un programa de diseño 3D para poder comprobar que se cumplen las especificaciones iniciales.

Hay que destacar que este proyecto no tiene como objetivo realizar el diseño íntegro y específico de ninguno de los elementos que componen la instalación, ni de la caseta o estructura autoportante tipo skid que contiene a cada una de las centrales. Por motivos de confidencialidad y dado que el proyecto que se desarrolla en este trabajo es real, se han evitado dar detalles del cliente.

### **2.2. Alcance del proyecto**

El alcance del presente proyecto comprende toda la organización de desarrollo técnico de una instalación de GLP. Desde la recepción y estudio de las especificaciones técnicas suministradas por el cliente, pasando por la definición del diseño escogido que pueda dar una solución física a dichos requerimientos, describiendo las alternativas estudiadas para su diseño y más ampliamente y con mayor detalle, la distribución finalmente elegida y los elementos que la componen.



### 3. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

#### 3.1. El GLP como combustible

GLP es la abreviatura de “gases licuados del petróleo” y reciben este nombre debido a que son una mezcla de hidrocarburos, subproducto de la destilación del petróleo, que alcanzan el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, y que tienen la propiedad de pasar a estado líquido por un aumento de presión o disminución de la temperatura.

Los GLP pueden encontrarse formando parte del crudo y del gas natural; sin embargo existen diversos procesos de refinería que los pueden producir. En el caso de encontrarse asociados al gas natural, los GLP, al tratarse de componentes con menos presión de vapor y puntos de ebullición más altos, tienen el riesgo de permanecer en fase líquida en las redes de distribución. Por lo tanto, antes de transportar el gas natural, se trata mediante un proceso de destilación fraccionada en el que separan el metano que tiene una temperatura de ebullición de  $-161,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , del resto de hidrocarburos que llevan asociados, y que fundamentalmente van desde los etanos a los pentanos.

El GLP comercial consiste en una mezcla de gases principalmente propano y butano, siendo la proporción del primero mayor que la del segundo, ya que el propano se vaporiza a partir de  $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y el butano lo hace a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es por este motivo que el propano es el componente gaseoso preferido particularmente para el uso industrial, donde se puede requerir una alta capacidad de evaporación rápida, ya que vaporiza incluso en las condiciones de temperatura exterior más extremas. En cambio, el butano no lo hace cuando la temperatura exterior es de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  o inferior, temperaturas que en algunas zonas de nuestro país son habituales en época invernal.

En la actualidad, aproximadamente un 3% de la energía en todo el mundo proviene del GLP, siendo su principal uso 48% doméstico, un 24% se usa en la industria química, 9% en transporte y un 4% como combustible en el proceso de refinación. Un 2% es utilizado para la agricultura.



## **3.2. Usos del GLP**

La sociedad y la propia evolución del mercado energético demandan cada vez más un suministro de energía limpia, cómoda y económica para cubrir sus necesidades. Esto está impulsando el desarrollo del GLP, que en la actualidad se utiliza para aplicaciones muy variadas. [1]

### **3.2.1. Agricultura**

El GLP se utiliza frecuentemente en el sector agrícola para desecación térmica, secado de cultivos, como combustible de vehículos agrícolas y para la calefacción de invernaderos.

Gracias a su capacidad para llegar a cualquier lugar, la disponibilidad en el suministro y sus excelentes condiciones medioambientales, aportando nulas emisiones de partículas y bajas emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, es una de las fuentes energéticas más utilizadas para esta actividad y puede desempeñar un papel muy importante en el futuro desarrollo de la agricultura.

### **3.2.2. Automoción**

A día de hoy, el GLP o autogás es el carburante alternativo más extendido en el sector de la automoción, con más de 13 millones de vehículos en todo el mundo. El valor añadido del GLP como carburante de automóvil reside en que genera considerablemente menos emisiones que otros combustibles fósiles, lo cual ayuda a proteger el medio ambiente y la salud humana y, a la vez, contribuye a mitigar la amenaza del cambio climático. El autogás emite un 50% menos de monóxido de carbono, un 40% menos de hidrocarburos y un 35% menos de óxidos de nitrógeno que la gasolina. Además, su potencial de formación de ozono es un 50% menor. [1]



### 3.2.3. Calefacción

Las viviendas y los hoteles necesitan una fuente de energía fiable para numerosas aplicaciones, como calefacción central, producción de agua caliente, climatización de piscinas o aire acondicionado. El GLP puede cubrir todas esas necesidades con la ventaja añadida de proteger a particulares y empresas contra la vulnerabilidad de los cortes en el suministro.

Además, el uso del propano como fuente de energía implica grandes ventajas competitivas frente a otras opciones convencionales como son:

- Mayor poder calorífico que el gas natural
- Combustión limpia y poco contaminante
- Mantenimiento sencillo, económico y vida prolongada de los equipos
- Es de suministro continuo y gran fiabilidad

### 3.2.4. Cocina

Como el GLP proporciona un suministro de energía fiable y polivalente, se utiliza de manera extensiva en hoteles y restaurantes. El GLP es el combustible preferido por muchos cocineros porque proporciona calor inmediato desde el instante mismo del encendido sin necesidad de un periodo de calentamiento. Por otro lado, el calor que produce el GLP responde inmediatamente a los reguladores y se distribuye de manera más uniforme por la base de los recipientes de cocina. Además, tiene una combustión muy eficiente, sin humos negros, no deja marcas en los utensilios de cocina y facilita su lavado.

### 3.2.5. Industria

Dentro de la industria, el GLP se utiliza frecuentemente en el sector panadería y bollería, en el sector cerámico y en el sector siderúrgico y metalúrgico, entre otros.

En realidad, puede constituir la fuente de energía en cualquier proceso que implique calentamiento, utilizándolo como combustible, pues se marca como una alternativa energética idónea teniendo en cuenta su alto poder calorífico así como su flexibilidad, limpieza y seguridad de suministro.





### 3.3. Características del GLP

El gas licuado de petróleo tiene las propiedades que se explican a continuación, de las cuales se pueden deducir sus ventajas y los procedimientos de seguridad que se deben de tener en cuenta para su buen aprovechamiento. [2]

#### 3.3.1. Características químicas

El butano y el propano son compuestos de hidrógeno y carbono, por eso reciben el nombre de hidrocarburos, y responden a la fórmula general de los hidrocarburos, que es  $C_nH_{2n+2}$ .



Figura 3.1. Molécula butano  $C_4H_{10}$



Figura 3.2. Molécula propano  $C_3H_8$

#### 3.3.2. Características físicas

##### Color

Es incoloro tanto en su estado líquido como en su estado gaseoso. Sólo se hace visible cuando el gas líquido se libera de manera muy rápida al medio ambiente. Esto es debido a que en ese momento se produce una transformación o cambio de estado, de líquido a gas o vapor.

##### Contaminación

El GLP no contiene ni azufre, ni plomo, ni sus correspondientes óxidos, la combustión no produce olores ni residuos (hollín, ni humos), y los productos de la combustión son  $CO_2$ ,  $H_2O$  y  $NO_x$ . El GLP no se disuelve en el agua ni la contamina, por lo que se puede utilizar en embarcaciones como combustible.



**Corrosión**

No corroee al acero, ni al cobre ni a sus aleaciones y no disuelve los cauchos sintéticos, por lo que estos materiales pueden ser usados para construir los elementos que forman la instalación. Por el contrario, disuelve las grasas, aceites, pinturas y el caucho natural.

**Densidad**

La densidad relativa media del propano comercial es de 1,57 [3]; esto significa que es más denso que el aire y que en el caso de que se produjese una fuga, se expandiría tendiendo a depositarse en las partes bajas del local. Por este motivo, se tiene que tener en cuenta esta característica a la hora de diseñar las ventilaciones de seguridad de la instalación.

**Grado de llenado**

El GLP en fase líquida se dilata por la temperatura más que los recipientes que lo contiene. Por lo tanto, éstos no se han de llenar completamente para así poder absorber el diferencial de dilatación producido por un aumento de la temperatura exterior, pues de lo contrario, se producirían excesos de presión no deseables. El grado de llenado máximo está establecido reglamentariamente en un 85%, considerando la masa en volumen a una temperatura de 20 °C.

**Límites de inflamabilidad**

Los límites de inflamabilidad de los combustibles gaseosos son las concentraciones mínimas y máximas de éstos con respecto al aire, entre cuyos valores dichas mezclas resultan inflamables. Si la concentración, expresada en tanto por ciento en volumen, es inferior al límite inferior de inflamabilidad o superior al límite superior de inflamabilidad no se produce la combustión. Lo que quiere decir que la combustión solo es posible en las mezclas con concentraciones comprendidas entre los límites de inflamabilidad.

En la Tabla 3.1 se pueden ver los valores para diferentes gases presentes en el GLP.



Gas	Límite de inflamabilidad [% en volumen]	
	Inferior	Superior
Propano	2,40	9,50
Propileno	2,40	11,10
n-Butano	1,60	8,50
Iso-Butano	1,80	9,00
Butilenos	1,70	8,50
n-pentano	1,40	7,80

**Tabla 3.1.** Límites de inflamabilidad**Olor**

Carece de olor natural, de manera que por medidas de seguridad y para su comercialización se le añade una sustancia odorizante para poder detectar por el olfato las posibles fugas que puedan ocasionarse. Los odorizantes más usados son algunos sulfuros y mercaptanos, que por su coste e intensidad del olor deben ser dosificados en aproximadamente 1 kg por cada 80.000 litros de GLP. Cuando se percibe el olor, la mezcla todavía se encuentra muy por debajo del límite inferior de inflamabilidad.

**Poder calorífico**

El poder calorífico es la capacidad que tiene un combustible de ceder calor cuando está ardiendo. Cuando existe una combustión se producen humos, siendo uno de estos el vapor de agua. Cuando este vapor de agua se condensa, en la chimenea lo hace cediendo calor; cuando se tiene en cuenta este calor añadido al propio combustible se llama poder calorífico superior (PCS), si no se tiene en cuenta este calor se llama poder calorífico inferior (PCI).

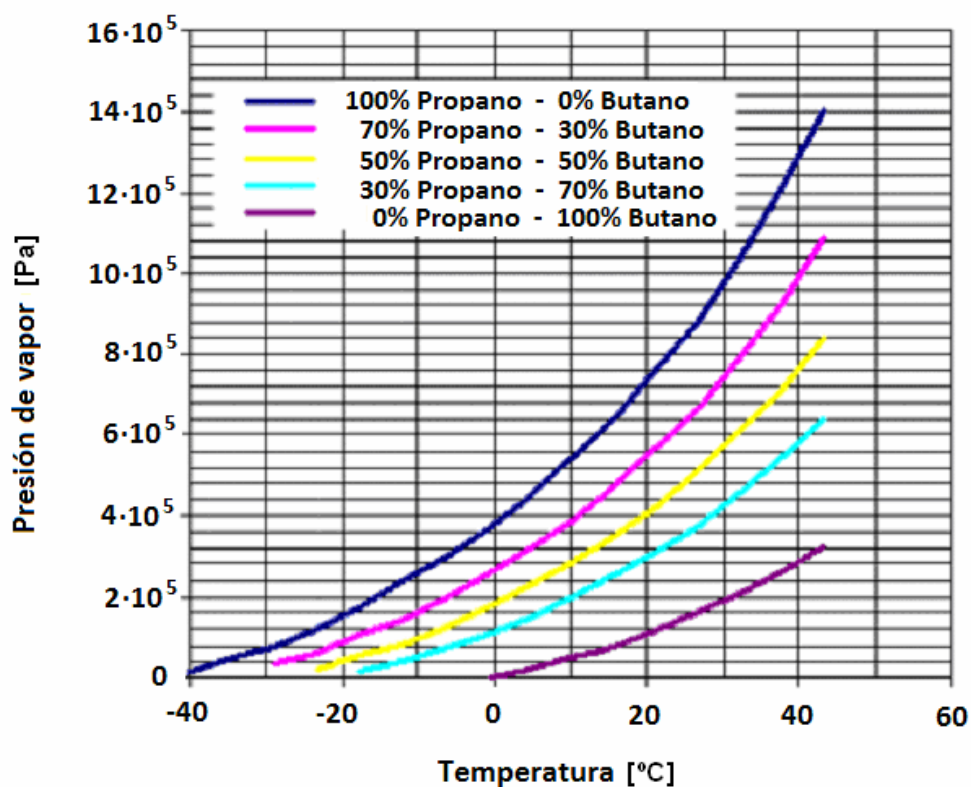
**Toxicidad**

El GLP no es tóxico. Únicamente en el caso de realizarse una combustión incorrecta debido a un defecto de oxígeno, se puede producir monóxido de carbono que es sumamente tóxico. Por este motivo, es importante tener cuidado con los aparatos que funcionan en locales cerrados o al realizar las chimeneas.



### Presión de vapor

Es la presión a la que el líquido está en equilibrio con el vapor. La presión de vapor existente en un recipiente que contiene GLP está determinada por la cantidad relativa de cada hidrocarburo presente en la mezcla y la temperatura presente del líquido, la cual depende de la transferencia de calor del ambiente. En la Figura 3.3. se pueden observar los valores de presión de vapor de posibles mezclas de GLP que forman los dos hidrocarburos mayoritarios, a diferentes temperaturas.



**Figura 3.3.** Presión de vapor del GLP en función del % de propano y % de butano



### 3.4. Familia de gases

Cuando un gas es capaz de reaccionar con el oxígeno del aire de forma rápida y con desprendimiento de energía térmica (proceso de combustión) se denomina gas combustible. Los combustibles gaseosos se clasifican en familias según un parámetro llamado índice de Wobbe, que es la relación entre el poder calorífico del gas por unidad de volumen y la raíz cuadrada de su densidad relativa respecto del aire. El índice de Wobbe se denomina superior o inferior según que el poder calorífico considerado sea el poder calorífico superior o inferior.

La Norma española UNE 60.002 clasifica los combustibles gaseosos en tres familias en función del valor del índice de Wobbe superior, según los valores que se indican.

$$W_s = \frac{PCS}{\sqrt{\delta}} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Donde:

$W_s$ : Índice de Wobbe superior [MJ/m<sup>3</sup>]

PCS: Poder calorífico superior del gas [MJ/kg]

$\delta$ : Es la densidad relativa del combustible respecto del aire [kg/m<sup>3</sup>]

**Primera familia:** Incluye los gases manufacturados, aire propanado y aire metanado con un índice de Wobbe superior comprendido entre 22,4 MJ/m<sup>3</sup> y 24,8 MJ/m<sup>3</sup>.

**Segunda familia:** Incluye los gases naturales y las mezclas hidrocarburos-aire cuyo índice de Wobbe superior esté comprendido entre 39,1 MJ/m<sup>3</sup> y 54,7 MJ/m<sup>3</sup>.

**Tercera familia:** Incluye los gases licuados de petróleo cuyo índice de Wobbe superior esté comprendido entre 72,9 MJ/m<sup>3</sup> y 87,3 MJ/m<sup>3</sup>.



### 3.5. Tipos de vaporización de GLP

Como el consumo de GLP se realiza por lo general en estado gaseoso, es necesario que pase al estado de vapor antes de que llegue al lugar de consumo. Este proceso se denomina vaporización y puede ser natural o forzada. [4]

#### 3.5.1. Vaporización natural

La vaporización natural es la posibilidad de un depósito de suministrar de manera continua una determinada cantidad de fase gaseosa sin la necesidad de aportar calor de manera auxiliar al GLP líquido, y depende de la superficie del depósito, de la temperatura ambiente y de la presión a la que se extrae el gas.

En el interior de un depósito cerrado, a la temperatura ambiente, el GLP se encuentra con sus dos fases, la líquida ocupando la parte inferior, y la gaseosa ocupando la superior, coexistiendo ambas en equilibrio y sometido a una presión que corresponde a la presión de vapor a dicha temperatura. Si se abre una válvula y se extrae fase gaseosa se rompe el equilibrio al disminuir la presión interior. Como consecuencia de ello, y para compensar esta pérdida de presión, se produce la vaporización natural de la fase líquida para tender a recuperar el equilibrio perdido. Es entonces cuando el líquido comienza a vaporizarse con la finalidad de aportar la fase gaseosa necesaria para mantener la presión de vapor.

Para realizar la transformación o cambio de estado de líquido a vapor se requiere un aporte de calor al líquido en una cantidad por unidad de masa determinada para cada sustancia, pero variable con la temperatura, que se conoce como calor latente de vaporización. Este calor lo toma el líquido de su propio seno, de manera que se enfría. Si se supone que inicialmente está a temperatura ambiente, en este momento, al disminuir su temperatura, se produciría una transmisión de calor desde el exterior al interior del depósito. Este calor lo recibe el GLP líquido del exterior a través de la chapa del recipiente que está en contacto con él, llamada superficie mojada, ya que la fase gaseosa como todos los gases es muy mala conductora del calor. Esta superficie mojada es menor cuanto menor es la cantidad de líquido en el depósito, por lo que si se consideran dos depósitos del mismo volumen geométrico pero de dimensiones diferentes, la superficie mojada será mayor en el que tenga el menor diámetro.



Por otro lado, la cantidad de calor que pasa desde el entorno del depósito a la masa de líquido depende de si el depósito es aéreo o enterrado. En el primer caso, la cantidad es mayor ya que el aporte lo realiza el aire atmosférico que lo rodea y que con su movimiento convectivo facilita el intercambio. Cuando el depósito está enterrado la cantidad de calor que recibe es menor, pues en este caso la transmisión se realiza por conducción desde el terreno en el que se encuentra.

Por último y en cuanto a la temperatura, es evidente que en los depósitos aéreos, cuanto más alta sea la temperatura exterior, mayor cantidad de calor se podrá transmitir al GLP, aunque también influyen otras condiciones meteorológicas como la velocidad del viento y la humedad relativa. Para los depósitos enterrados hay que considerar una temperatura constante del terreno que para los cálculos se toma de 5 °C.

En resumen, hay varios factores que influyen en la vaporización natural de un depósito. La presión de utilización, la superficie mojada que varía con las dimensiones del recipiente y con la cantidad de líquido que contiene y, por último, la temperatura exterior que a su vez depende de la ubicación, ya sea aérea o enterrada.

### **3.5.2. Vaporización forzada**

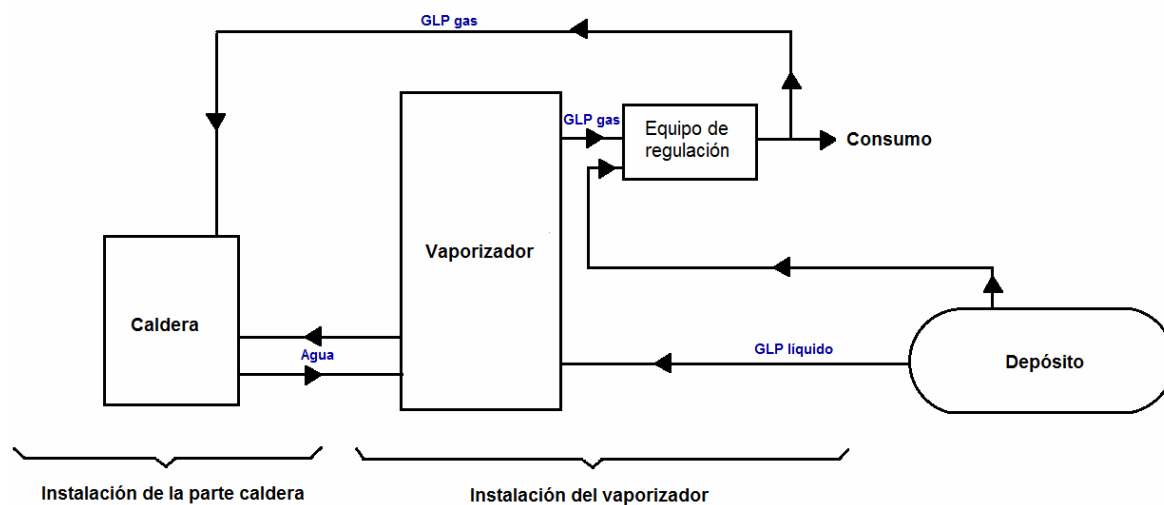
Si la demanda de fase gaseosa de la instalación es mayor que la que puede aportar el depósito, el GLP se va enfriando, con lo que disminuye la vaporización llegando a interrumpirse el suministro. Cuando mediante la vaporización natural no se obtiene la cantidad suficiente para suministrar de manera continua la fase gaseosa que se precisa para el consumo, se ha de instalar un sistema de vaporización forzada consistente en un intercambiador de calor o vaporizador en el que por medio de un fluido auxiliar se aporta al GLP el calor necesario para aportar la fase gaseosa que requiere la instalación sin que descienda la temperatura en el depósito.

De manera que, la vaporización forzada es la que se produce cuando se calienta la fase líquida de forma artificial para provocar la vaporización, y se lleva a cabo mediante un aporte de calor de forma auxiliar al GLP líquido.



## 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para diseñar la instalación se han de cumplir una serie de requisitos y condiciones técnicas proporcionadas por el cliente. Dichas condiciones se especifican a continuación y se diferencian en función de la instalación a la que hacen referencia, según sea a la instalación que contiene el intercambiador de calor en la que se vaporiza el GLP, a la parte de la caldera o a ambas. Véase la Figura 4.1.



**Figura 4.1.** Esquema de la instalación

### 4.1. Especificaciones instalación del vaporizador

#### Esquemas de instalación

- Las tuberías de fase líquida de GLP que alimentan al vaporizador deben cumplir las dimensiones descritas en la Tabla 4.1.

Capacidad vaporizador [kg/h]	Diámetro tubería
$Q \leq 350$	$\geq \text{DN}25$
$350 < Q \leq 1.000$	DN32
$Q > 1.000$	DN50

**Tabla 4.1.** Diámetro de la tubería de fase líquida en función de la capacidad del vaporizador





- La electroválvula situada en la entrada de GLP líquido al vaporizador tiene que ser de pistón.
- Se valorará positivamente el incremento de sección a la salida de los reguladores.
- Los calderines de condensados situados aguas arriba de los reguladores tendrán un volumen de 5 litros.
- El decantador situado entre la salida de la fase gaseosa del vaporizador y la red de consumo tendrá un volumen de 105 litros.
- La altura de los distintos dispositivos que integran los equipos de regulación, medida desde el eje de la tubería al nivel del suelo circundante, excederá los 50 cm y no superará en ningún caso los 170 cm.

#### Dimensionamiento: presiones, caudales y diámetros

- El vaporizador se tiene que alimentar por un fluido caloportador, y su capacidad de vaporización tiene que ser de 500 kg/h.
- La presión máxima de suministro, MOP, para propano comercial se fija en 2 bar.

## **4.2. Especificaciones instalación de la parte caldera**

#### Dimensionamiento: presiones, caudales y diámetros

- Temperatura máxima del agua de la caldera: 90 °C
- Temperatura mínima del agua de la caldera: 35 °C
- Temperatura de trabajo de la caldera: 55-60 °C

#### Esquemas de instalación

- La/s caldera/s se alimentará/n directamente por la fase gaseosa tras el conjunto de regulación de la instalación del vaporizador con MOP inferior a 2 bar.
- La Tabla 4.2. indica el diámetro y el caudal de la línea de alimentación a la caldera antes del equipo de regulación de la instalación del vaporizador, en función de la capacidad de vaporización de la planta.



Capacidad de vaporización planta [kg/h]	Caudal de alimentación calderas [kg/h]	Ø línea alimentación conjunto calderas antes de reguladores
500	4,2	½ "
750	6,3	½ "
1.000	8,4	½ "

**Tabla 4.2.** Diámetro y caudal línea de alimentación en base a la capacidad de vaporización

### 4.3. Especificaciones comunes a ambas instalaciones

#### Esquemas de instalación

- La instalación tiene que estar formada por un conjunto de depósito/s, vaporizador/es y caldera/s.

#### Edificaciones

- La/s caldera/s y el/los vaporizador/es tiene/n que estar ubicado/s en edificaciones independientes, y si esto último no es posible se tiene/n que ubicar en una única instalación separada por un tabique recto y sin ninguna apertura.

#### Emplazamiento

- La parcela tiene que ser sensiblemente horizontal.
- Las casetas deben construirse de una sola planta.
- La superficie proyectada en planta no podrá ser nunca superior a los 30 m<sup>2</sup>.

#### Materiales

- Para la construcción de las tuberías aéreas, las de fase líquida, las de fase gaseosa situadas tanto entre el depósito y el equipo de regulación, como entre el equipo de regulación y la válvula de salida del centro de almacenamiento se utilizará acero al carbono DIN 2440 según UNE EN 10.208-2.



- El pavimento tiene que ser de un material no absorbente y de tal naturaleza que los choques y golpes con objetos metálicos no puedan producir chispas.
- El material de construcción de las edificaciones de las calderas y los vaporizadores debe presentar una resistencia al fuego de como mínimo RF-120.

#### Soldadura

- Las uniones soldadas se radiografiarán al 100% para MOP por encima de los 5 bar y para presiones inferiores al 20%. Si el porcentaje de soldaduras rechazadas es igual o superior al 15% se radiografiarán al 100%, aceptándose únicamente las calificadas como 1 y 2, según la Norma UNE 1063.

#### Instalación eléctrica

- La iluminación del interior de los edificios tendrá una intensidad de 100 lux así como el alumbrado de emergencia en el interior de las edificaciones cerradas.
- Los depósitos, tuberías aéreas y equipos se conectarán a una red de tierras equipotencial con resistencia de puesta a tierra menor de 80 ohm.

#### Pica de tierra

- Tendrá una longitud mínima de 1 metro.

#### Alumbrado interior de la caseta y alumbrado de emergencia autónomo

- Se dotará al equipo de una luminaria antideflagrante, homologada para ubicación en la zona correspondiente. Igualmente, el equipo incorporará un sistema de alumbrado de emergencia que se active ante caídas de tensión superiores al 70% y con una autonomía de 2 horas.



## 5. EMPLAZAMIENTO

El reglamento electrotécnico de baja tensión ITC-BT-29 establece los requisitos que han de satisfacer los elementos que constituyen la instalación eléctrica en emplazamientos con atmósferas potencialmente explosivas. Estos emplazamientos se agrupan en dos clases según la naturaleza de la sustancia inflamable, denominadas como Clase I y Clase II. Y en cada una de estas clases a su vez, se establece una subdivisión en zonas según la probabilidad de presencia de la atmósfera potencialmente explosiva. [6]

### 5.1. Clases de emplazamientos

Los emplazamientos se agrupan de la siguiente manera:

- **Clase I:** Emplazamientos en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables. Se incluyen en esta clase los lugares en los que hay o puede haber líquidos inflamables.
- **Clase II:** Emplazamientos en los que hay o puede haber polvo inflamable.

#### 5.1.1. Zonas de emplazamientos Clase I

Las zonas de emplazamiento de Clase I a su vez se subdividen en tres subgrupos. Se distinguen:

- **Zona 0:** Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva constituida por una mezcla de aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor, o niebla, está presente de modo permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente.
- **Zona 1:** Emplazamiento en el que cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación ocasional de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.
- **Zona 2:** Emplazamiento en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o, en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo subsiste por espacios de tiempo muy breves.

En la Norma UNE-EN 60079-10 se recogen reglas precisas para establecer zonas en emplazamientos de Clase I.



### 5.1.2. Zonas de emplazamientos Clase II

Las zonas de emplazamiento de Clase II a su vez se subdividen en tres subgrupos.

- **Zona 20:** Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva en forma de nube de polvo inflamable en el aire está presente de forma permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente. Las capas en sí mismas no constituyen una zona 20. En general estas condiciones se dan en el interior de conducciones, recipientes, etc. Los emplazamientos en los que hay capas de polvo pero no hay nubes de forma continua o durante largos períodos de tiempo, no entran en este concepto.

- **Zona 21:** Emplazamientos en los que cabe contar con la formación ocasional, en condiciones normales de funcionamiento, de una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo inflamable en el aire. Esta zona puede incluir los emplazamientos en la inmediata vecindad de, por ejemplo, lugares de vaciado o llenado de polvo.

- **Zona 22:** Emplazamientos en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo inflamable en el aire o en la que, en caso de formarse dicha atmósfera explosiva, sólo subsiste por breve espacio de tiempo. Esta zona incluye entornos próximos de sistemas conteniendo polvo de los que puede haber fugas y formar depósitos de polvo.

En la Norma CEI 61241-3 se recogen reglas para establecer zonas en emplazamientos de Clase II.

La presente instalación forma parte de los emplazamientos de Clase I ya que se trata de una instalación en la que se manipulan y consumen gases inflamables. Dentro de esta clase, la zona de emplazamiento es la zona 1, pues en condiciones normales de funcionamiento, se podría formar de manera ocasional una atmósfera explosiva.

Todos los equipos y materiales situados en zona clasificada, es decir, todos los elementos que forman parte de la instalación llevan el marcado de acuerdo a la Directiva 94/9/CE ATEX R.D. 400/1996, un hexágono “EX” y la clasificación de la zona en la que pueden ser utilizados.



Figura 5.1. Símbolo ATEX



## 6. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CENTRAL DE VAPORIZACIÓN

### 6.1. Equipo vaporizador

#### 6.1.1. Introducción

Cuando el caudal de fase gaseosa suministrado por vaporización natural es insuficiente para alimentar la instalación de consumo, se ha de recurrir a la vaporización forzada por medio de un vaporizador. La finalidad de este aparato es regasificar el GLP contenido en los depósitos de almacenamiento antes de su emisión a la red de distribución, proporcionándole a dicho combustible, el calor necesario para que se lleve a cabo el cambio de estado y el GLP pase de líquido a vapor.

La fuente de energía que aporta calor al vaporizador puede ser de tipo eléctrica, mediante unas resistencias colocadas en el vaporizador; o con un fluido intermedio que puede ser calefactado a partir de gas contenido en el depósito de almacenamiento de propano, que alimenta a una caldera calentando un circuito primario en el que circula dicho fluido, que pasa por un intercambiador o vaporizador.

#### 6.1.2. Tipos de vaporizadores

En los **vaporizadores eléctricos**, se utiliza la electricidad como fuente de calor.

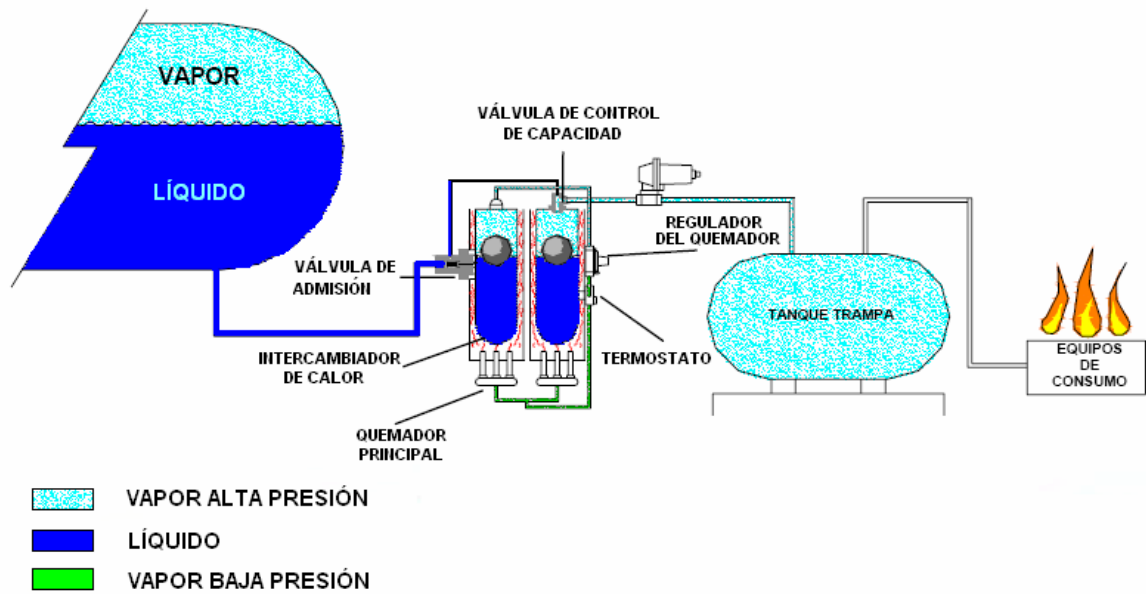
- **Vaporizador eléctrico de inmersión directa:** es aquel dentro del cual un elemento eléctrico se encuentra sumergido directamente en el líquido y vapor del GLP.

- **Vaporizador eléctrico indirecto:** dentro del vaporizador hay un elemento eléctrico que calienta una solución intermedia, dentro de la cual se encuentra sumergido el intercambiador de calor de GLP, o un absorbedor de calor intermedio.

En los **vaporizadores indirectos o de fuego indirecto**, el calor suministrado por vapor, agua caliente u otro medio de calentamiento, se aplica a un intercambiador que contiene el GLP que se desea vaporizar. La característica principal es que el calentamiento del medio usado se produce en una instalación alejada.



En los **vaporizadores de contacto directo** el calor que se suministra mediante una llama se aplica directamente sobre la superficie de un intercambiador de calor que se encuentra en contacto con el GLP líquido que se quiere vaporizar. En esta clasificación se encuentran los vaporizadores de combustión sumergida, que vaporizan el GLP que fluye dentro de tubos sumergidos en un baño de agua con un quemador.



**Figura 6.1.** Instalación con un vaporizador de contacto directo

En los **vaporizadores de baño María**, también denominados de inmersión, una cámara de vaporización, tuberías, serpentín u otra superficie de intercambio de calor que contiene el GLP líquido para vaporizar, se sumerge en un baño de agua de temperatura controlada, una combinación de agua-glicol u otro medio de transferencia de calor incombustible, calentado por un dispositivo de inmersión que no entra en contacto con la superficie de intercambio de calor del GLP.

Uno de los requisitos que ha de cumplir el vaporizador elegido, por una cuestión de seguridad, es que reduzca al máximo la posibilidad de que se produzca una explosión. Los hidrocarburos son inflamables, y según su punto de inflamación pueden provocar atmósferas explosivas. Al vaporizarse el GLP se generan una cantidad de gases y vapores que si en algún momento se pusieran en contacto con un comburente tal como el oxígeno del aire, en un intervalo de concentración determinado y con un foco de ignición, se produciría una explosión.



Instalar un vaporizador eléctrico no sería lo más idóneo en este caso, ya que no es aconsejable que un elemento eléctrico, una resistencia, esté en contacto directo o indirecto con el GLP. Estos elementos no pueden permanecer en contacto con la atmósfera peligrosa, ya que durante un funcionamiento normal o en caso de avería se pueden generar arcos, chispas o puntos calientes que desencadenen una explosión.

Del mismo modo, en un vaporizador de contacto directo se produce un calentamiento excesivo del gas, la llama que aplica calor a la superficie del intercambiador está en contacto con el GLP que se quiere vaporizar, de manera que al mínimo fallo, avería o escape de gas, tal exposición podría provocar una explosión no deseada.

Por otro lado, también existe el problema de la polimerización. Cuando el calentamiento del GLP supera los 50 °C o 60 °C, los hidrocarburos no saturados rompen sus enlaces dobles y triples provocando la polimerización, o dicho de otra forma, la formación de aceites. Estos aceites se acumulan en los puntos más bajos y en los elementos puntuales intercalados en la conducción como son los reguladores y los contadores, alterando su funcionamiento y pudiendo llegar a inutilizarlos. La polimerización se incrementa cuando se produce una reducción grande de la presión, como es el caso de los reguladores, donde por ese motivo, la acumulación de aceites es mayor.

Para evitar la aparición de este fenómeno se ha de trabajar a temperaturas inferiores a la señalada, por lo que se descarta el vaporizador de llama directa, ya que en ellos se producen calentamientos locales elevados.

Finalmente, el vaporizador elegido que cumple con las normas de seguridad de atmósferas inflamables, con las especificaciones citadas en el punto anterior y reduce la posibilidad de que se produzca el efecto de la polimerización es el vaporizador indirecto.

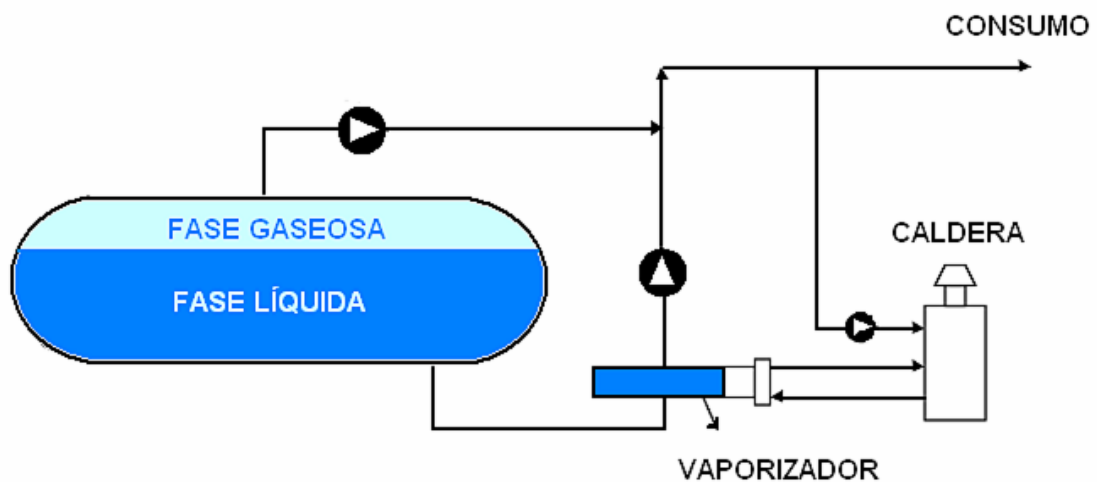
Dentro de los vaporizadores indirectos y según el diseño de la instalación de vaporización, se puede hablar de dos sistemas diferenciados, el de tipo feed-out y de tipo feed-back.





### 6.1.3. Diferencias de los candidatos

En los **vaporizadores feed-out**, el GLP en fase gas que sale del vaporizador se envía directamente a la red de servicio. Cuando se produce un consumo de gas, disminuye la presión de la red y como esta presión es inferior a la del depósito que almacena el GLP, se produce la entrada de GLP líquido en el vaporizador. Al vaporizarse parte del GLP y aumentar la cantidad de vapor, se produce un aumento de la presión de la red y esto provoca que se estabilicen las presiones y se vuelva a la situación de equilibrio del principio y que por lo tanto, finalice la entrada de GLP líquido en el vaporizador.



**Figura 6.2.** Instalación del vaporizador feed-out

El sistema **feed-back** consiste en un recipiente a presión que dispone de un intercambiador que está completamente bañado por el propano líquido. De este modo, se optimiza la transferencia de calor del circuito de calefacción, ya que se reducen las emisiones de calor al exterior. En el intercambiador, al estar totalmente bañado en el recipiente, no se producen condensaciones de aceite ni la destilación de los productos por un calentamiento excesivo. El control de encendido del sistema se realiza mediante un presostato el cual, cuando detecta una bajada de presión, actúa encendiendo la caldera y cuando el regulador del depósito no puede asegurar el caudal demandado, entra en juego el vaporizador. Esta técnica recibe el nombre de “feed-back” debido a que no actúan directamente sobre el consumo sino que el gas retorna al depósito, con lo cual, el propio depósito funciona de cojín ante los cambios y fluctuaciones del consumo.



Los vaporizadores con sistema “feed-back” por su propia concepción no necesitan sistemas de seguridad contra la invasión de líquido en la parte gaseosa del consumo.

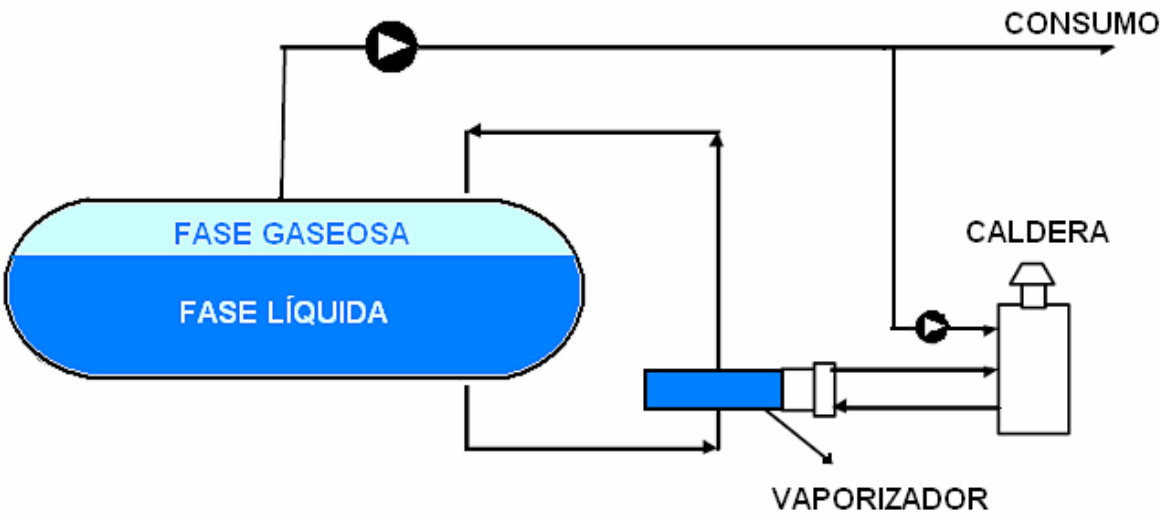


Figura 6.3. Instalación del vaporizador feed-back

Las diferencias entre la vaporización feed-out y la vaporización feed-back se esquematizan en la Tabla 6.1.

Vaporización feed-out	Vaporización feed-back
Funcionamiento	
- El servicio de gas a la red de consumo se realiza desde el vaporizador.	- El servicio de gas a la red de consumo se realiza desde el depósito.
Regulación	
- Se realiza por medio de termostatos en el circuito de calefacción y en el retorno del agua de caldera. - Se necesita válvula de corte, flotador contra invasión de fase líquida o detector de nivel para controlar el nivel de líquido.	- Se realiza por medio de un presostato que actúa sobre la caldera de calefacción. - No necesita controles de nivel de líquido porque el intercambiador trabaja inundado.



Vaporización feed-out	Vaporización feed-back
<b>Purgas</b>	
Al producirse recalentamiento del gas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formación de aceites (polimerización).</li> <li>- Necesidad de purgas y decantador.</li> </ul>	Al trabajar siempre inundado de líquido: <ul style="list-style-type: none"> <li>- No se producen polimerizaciones de aceites.</li> </ul>
<b>Condiciones de trabajo</b>	
Parte del serpentín de calefacción suele estar en contacto con el gas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se produce recalentamiento del gas.</li> <li>- Hay que limitar la temperatura de calefacción.</li> </ul>	El vaporizador trabaja siempre inundado de líquido: <ul style="list-style-type: none"> <li>- No se produce sobrecalentamiento del gas.</li> <li>- Las temperaturas del primario pueden ser mayores.</li> </ul>
<b>Rendimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor rendimiento del conjunto vaporizador-caldera porque el GLP vaporizado va directamente a consumo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al trabajar inundado se obtiene máximo rendimiento en el intercambiador de calor.</li> <li>- Menor rendimiento del conjunto vaporizador-caldera debido a que el GLP vaporizado retorna al depósito.</li> </ul>
<b>Limitaciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión de servicio en función de la temperatura del depósito.</li> <li>- Temperatura de calefacción limitada por la polimerización.</li> <li>- Temperatura de calefacción por encima de la máxima previsible en el depósito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay limitación de presiones de servicio.</li> <li>- No se debe cuidar excesivamente la temperatura máxima de calefacción.</li> <li>- No hay rango inferior de temperaturas del agua de calefacción.</li> </ul>
<b>Economía</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación más compleja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación más sencilla.</li> </ul>

**Tabla 6.1.** Diferencias entre la vaporización feed-out y la vaporización feed-back

#### 6.1.4. Ventajas e inconvenientes de los candidatos

Vaporización feed-out	Vaporización feed-back
Ventajas	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se aprovecha la vaporización natural.</li> <li>- El gas va directamente a la red.</li> <li>- La regulación es automática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se aprovecha la vaporización natural.</li> <li>- No existen limitaciones relacionadas con la temperatura del depósito.</li> </ul>
Inconvenientes	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La presión de la red está limitada a la temperatura del depósito.</li> <li>- El funcionamiento del vaporizador es incorrecto con temperaturas del depósito superiores a 45 °C.</li> <li>- Se forman aceites (polimerización) a partir de los 50 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El vaporizador debe instalarse a un nivel inferior al del depósito (modelo sin bomba).</li> <li>- El vaporizador necesita bomba en el caso de tener depósitos enterrados.</li> <li>- Desaprovechamiento del calor en invierno.</li> <li>- El gas vaporizado retorna al depósito.</li> </ul>

**Tabla 6.2.** Ventajas e inconvenientes entre la vaporización feed-out y feed-back

#### 6.1.5. Selección del vaporizador

Tras realizar un estudio comparativo de los dos candidatos y evaluar las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, finalmente, el vaporizador elegido para formar parte de la central de vaporización es el de tipo feed-out, en el que el GLP a vaporizarse se destina directamente al consumo. De este modo, el vaporizador tan solo trabaja cuando es necesario, es decir, se pone en funcionamiento cuando el gas suministrado mediante vaporización natural no es suficiente para alimentar la instalación de consumo y se recurre a la vaporización forzada. Por otro lado, al diseñar la instalación según esta concepción, se eliminan las limitaciones debidas a las bajas temperaturas del entorno que existen con el otro sistema, por lo que se puede instalar en cualquier zona del mundo y funcionar correctamente en cualquier época del año.



El sistema feed-out es el más usado y conocido. Consiste en un recipiente a presión con un serpentín en la parte inferior por donde circula el agua caliente suministrada por una caldera que calienta el GLP líquido que a su vez, entra también por la parte inferior del vaporizador proveniente del depósito; en la parte superior está la salida del gas propano.

El nivel de GLP líquido dentro del vaporizador cuando está en funcionamiento varía con la demanda de gas de consumo. Cuando hay poca demanda, baja el nivel de líquido, pues el GLP caliente produce más fase gaseosa que la necesaria para el consumo, y el exceso de presión en el recipiente del vaporizador hace retornar el GLP líquido desde el vaporizador hacia el depósito.

Para que este movimiento de GLP entre los depósitos y el vaporizador pueda producirse en ambos sentidos, es necesario que no exista en la toma de salida de fase líquida del depósito, ninguna válvula antiretorno.

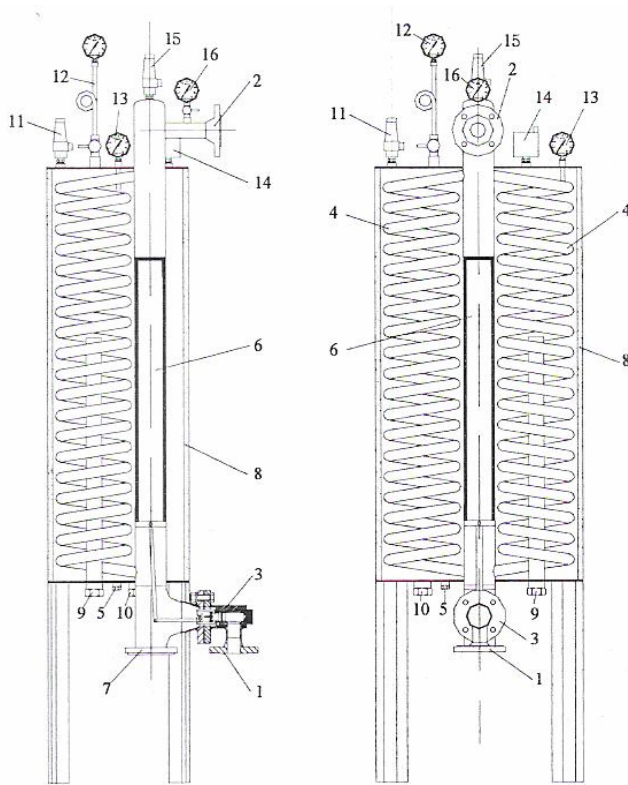
Si la demanda aumenta, la presión en el interior del vaporizador disminuye y el nivel de líquido aumenta al haber más presión en el depósito de almacenamiento que en el vaporizador. Este aumento de nivel puede llegar a ser peligroso si el líquido alcanza la salida de fase gaseosa en la parte superior del recipiente, lo que provocaría la inundación de la instalación de consumo con el riesgo consiguiente para los usuarios.

Para evitar esta posibilidad, el vaporizador incorpora sistemas de seguridad para evitar la inundación. Normalmente estos sistemas consisten en una boya interna la cual, cuando sube por flotación por encima de un nivel predeterminado acciona un contacto que actúa sobre una válvula neumática o electromagnética que corta la aportación de propano líquido del depósito. Esta misma válvula es la que abre el paso de GLP líquido al interior del vaporizador a través de un termostato situado en el retorno del circuito de calefacción tarado a una temperatura a partir de la cual deja entrar líquido en el vaporizador. Además, incorporan una válvula de seguridad por máxima presión.

#### **6.1.6. Modelo del vaporizador**

Según las especificaciones de diseño dadas por el cliente, la capacidad de vaporización del vaporizador tiene que ser de 500 kg/h. Se escoge el modelo WA-O CE 500 kg/h de SAMTECH, ya que es el proveedor habitual de la empresa en este tipo de productos. Este modelo está dotado de los dispositivos que se pueden apreciar en la Figura 6.4.





1. Entrada fase líquida
2. Salida fase gas
3. Válvula de entrada
4. Serpentin
5. Purga de agua
6. Flotador
7. Purga de GLP
8. Aislante
9. Entrada agua caliente
10. Salida agua fría
11. Válvula de seguridad de agua
12. Manómetro de agua
13. Termómetro
14. Purga de aire automática
15. Válvula de seguridad de GLP
16. Manómetro

**Figura 6.4.** Vaporizador WA-O CE 500 kg/h de SAMTECH

El vaporizador es un recipiente cilíndrico vertical con fondos semiesféricos, construido en acero al carbono y preparado para una presión de prueba de 29 bar y 20 bar de presión de trabajo. En su interior se diferencian dos zonas, el cuerpo del vaporizador y un haz tubular de acero denominado serpentín de calefacción, gracias al cual se produce el intercambio de calor entre el fluido portador del calor, en este caso agua con anticongelante a una temperatura máxima de 60 °C, y el propano.

Se dispone de 4 válvulas de corte que aíslan el vaporizador del sistema. Una situada en la entrada de GLP líquido al vaporizador, una en la salida de la fase gaseosa, una en la llegada y otra en el retorno del fluido calefactor.

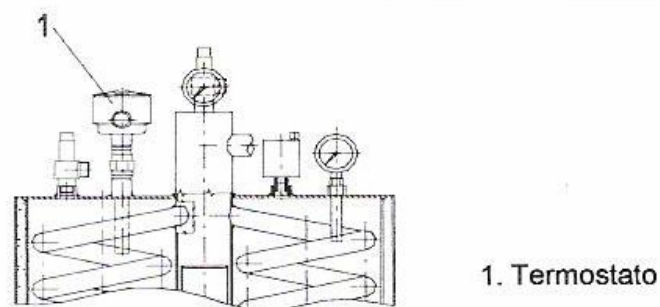
La válvula de purga conectada a la parte inferior del cuerpo vaporizador se conduce al exterior del local en el que se ubica el vaporizador, para permitir el vaciado del mismo.



Para evitar la inundación del cuerpo de vaporización se dispone de un nivel de líquido tipo nivostato instalado en el recipiente vaporizador, que envía una señal eléctrica a la electroválvula de corte situada en la alimentación de fase líquida al vaporizador, para cerrarla si el nivel de líquido es superior a uno fijado. Para mayor fiabilidad, se dispone de un flotador contra invasión de fase líquida. Es un dispositivo de seguridad por flotación que impide el paso de GLP líquido a la red en caso de fallo del nivostato, cerrando la salida gaseosa del vaporizador. Por último, se dispone de un termostato instalado en el retorno del circuito de calefacción que actúa de igual manera sobre la electroválvula, provocando el cierre de la misma ante un descenso de la temperatura del agua de retorno por debajo de los 35 °C, según las especificaciones del cliente.

Las válvulas de seguridad, tanto para el circuito del agua como para el de GLP, garantizan que la presión en el interior del cuerpo de vaporización no supere la máxima establecida y están diseñadas para liberar fluido cuando la presión interna supere el umbral establecido. La descarga de la válvula de seguridad del circuito de GLP se conduce al exterior del local mediante una tubería que va a parar a un colector de venteo. El termómetro y el manómetro que posee miden la temperatura y la presión del GLP en el interior del vaporizador, respectivamente.

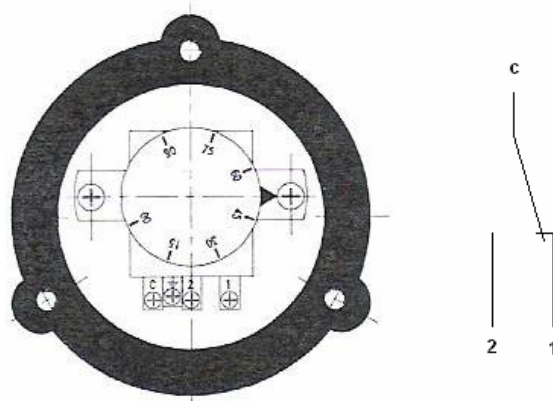
Este modelo de vaporizador ofrece la posibilidad de sustituir el manómetro del agua (Fig.6.4 Pos.12) por un termostato (Fig.6.5 Pos.1) junto con una electroválvula instalada en la entrada de la fase líquida que garantiza que no pasará GLP líquido a la línea de consumo, incluso cuando la caldera esté desconectada. Este dispositivo dota de una seguridad adicional al vaporizador y asegura que el intercambio de calor entre el agua y el GLP se lleve a cabo a la temperatura adecuada.



**Figura 6.5.** Detalle del vaporizador WA-O CE 500 kg/h de SAMTECH



El conjunto del termostato del vaporizador y la electroválvula se monta como equipo de seguridad en caso de que la temperatura del agua descienda por debajo del punto de intercambio de calor. El termostato está ajustado a 50 °C, cuando el agua alcanza esta temperatura el contacto C1 está abierto y el C2 cerrado, cuando la temperatura del agua desciende por debajo de este valor, el contacto C1 se cierra mientras el C2 se abre como se muestra en la Figura 6.6. El contacto C2 alimenta al contacto normalmente cerrado de la electroválvula, la válvula cierra y el equipo se queda seguro, ya que por debajo de la temperatura de ajuste del termostato, se supone que la vaporización no es posible.



**Figura 6.6.** Contacto termostato

El equipo vaporizador se conecta al resto de la instalación a través de bridas situadas de tal manera que se permite tanto su desmontaje completo como su desmontaje parcial.

## 6.2. Cálculo de conducciones

El cálculo del diámetro de las tuberías de la instalación se realiza por tramos, según el estado del GLP en su interior, la presión a la que se ve sometida la canalización o la velocidad a la que circula el producto. De modo que se diferencian la conducción de fase líquida, de fase gaseosa previa a la regulación, de fase gaseosa tras la regulación, de fase gaseosa de alimentación a la caldera y el circuito de agua de la caldera.

Para el cálculo del diámetro de una tubería se utiliza la siguiente expresión (Eq. 6.1) en función del caudal y de la velocidad máxima admisible del fluido en su interior.





$$Q = \frac{v \cdot \pi \cdot D_i^2}{4} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Donde:

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/s]

v: Velocidad del gas dentro de la conducción [m/s]

D<sub>i</sub>: Diámetro interior de la tubería [m]

El cálculo del diámetro mínimo se realiza considerando la mínima presión del gas en el interior de la tubería, el máximo caudal que puede pasar a través de ella y la máxima velocidad admisible.

Para el cálculo del espesor de la tubería se ha tenido en cuenta el cálculo que establece la norma UNE 60.309-83 “Canalizaciones para combustibles gaseosos. Espesores mínimos para tuberías de acero”, a través de la ecuación (Eq. 6.2); y por otro lado, lo indicado en la norma DIN 2440 relativo a los espesores mínimos recomendados para tuberías de acero.

Según la norma UNE 60.309-83, para gases transportados a una temperatura inferior a 120 °C, el valor del espesor mínimo será:

$$e = \frac{P \cdot D_e}{20 \cdot \sigma_e \cdot F \cdot C} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Donde:

P: Presión de cálculo [bar], aplicando un factor de seguridad de 1,5 a la presión de trabajo

D<sub>e</sub>: Diámetro exterior teórico de la tubería [mm]

σ<sub>e</sub>: Límite elástico mínimo especificado [N/mm<sup>2</sup>]

F: Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento del conjunto

C: Factor de eficiencia de la soldadura

e: Espesor mínimo de la tubería [mm]

El espesor escogido es el más restrictivo, el resultado más elevado obtenido mediante los dos métodos comentados anteriormente, UNE 60.309-83 y DIN 2440.

Por último se realiza una comprobación de los diámetros escogidos mediante el cálculo de las pérdidas de carga de la instalación (Anexo D).



### **Conducción de fase líquida**

Siendo la capacidad del vaporizador de 500 kg/h y con lo indicado en la Tabla 6.3. suministrada por el cliente, el diámetro de esta conducción es DN32.

Capacidad vaporizador [kg/h]	Diámetro tubería
$Q \leq 350$	$\geq \text{DN}25$
$350 < Q \leq 1.000$	DN32
$Q > 1.000$	DN50

**Tabla 6.3.** Diámetro de la tubería de fase líquida en función de la capacidad del vaporizador

El cálculo del espesor en el tramo de tubería de transporte de GLP líquido se escoge según lo indicado en la norma DIN 2440 que es la más restrictiva, siendo para un diámetro DN32 un espesor mínimo de 3,25 mm.

### **Conducción de fase gaseosa previa a la regulación**

Previo a la regulación existen dos canalizaciones independientes que transportan GLP gas, una que va desde la salida del vaporizador al equipo de regulación llamada rampa de vaporización forzada, y otra que desde el depósito hasta el equipo de regulación llamada rampa de vaporización natural.

Los valores para los cálculos del diámetro mínimo y para el espesor de la rampa de vaporización forzada se muestran en las Tablas 6.4 y 6.5, respectivamente.

Variable	Significado	Unidades	Valor
Q	Caudal tubería	kg/h	500
$\nu$	Volumen específico del gas a 4 bar y 320 K <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg	0,173047
v	Velocidad máxima admisible del gas en la tubería <sup>(2)</sup>	m/s	20
$D_i$	Diámetro interior mínimo de la tubería	mm	39,12
DN	Diámetro nominal de la tubería	mm	<b>DN40</b>

**Tabla 6.4.** Cálculo diámetro tubería rampa vaporización forzada

Notas: <sup>(1)</sup> La temperatura del gas en el interior de la tubería no debe superar los 50 °C a fin de evitar la polimerización de los hidrocarburos no saturados.

<sup>(2)</sup> La norma UNE 60.670-4 establece que la velocidad del gas en el interior de una tubería no debe superar los 20 m/s a fin de evitar ruidos y vibraciones.



Se escoge un diámetro inmediatamente superior al obtenido mediante los cálculos, DN40.

Variable	Significado	Unidades	Valor
P	Presión de cálculo	bar	30
D <sub>e</sub>	Diámetro exterior teórico del tubo <sup>(1)</sup>	mm	48,3
σ <sub>e</sub>	Límite elástico mínimo especificado <sup>(2)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	240
F	Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento <sup>(3)</sup>	-	0,40
C	Factor de eficiencia de la soldadura <sup>(4)</sup>	-	1
e	Espesor de la tubería	mm	0,7547

**Tabla 6.5.** Cálculo del espesor de la tubería rampa vaporización forzada

Notas: <sup>(1)</sup> Tabla II de la norma UNE 60.309.

<sup>(2)</sup> Límite elástico del acero al carbono ASTM A 106-B

<sup>(3)</sup> Norma UNE 60.305 y UNE 60.302. Emplazamiento de categoría 4ª que comprende las zonas en las que predominan edificios de 4 o más plantas, hay tráfico rodado pesado e intenso y/o abundancia de servicios.

<sup>(4)</sup> Norma UNE 60.309, “Soldadura longitudinal eléctrica por resistencia o inducción”

A pesar del valor del espesor calculado, se deben respetar una serie de espesores mínimos indispensables por cuestiones de montaje, soldadura, transporte, etc., según la norma UNE 60.309-83, y lo especificado en la norma DIN 2440.

	Cálculo espesor Norma 60.309-83	Espesor mínimo Norma 60.309-83	Espesor mínimo Norma DIN 2440
<b>Espesor [mm]</b>	0,75	2,60	3,25

**Tabla 6.6.** Cálculo del espesor de la tubería de vaporización forzada

Tal y como se ha comentado antes se escoge el valor más elevado, de manera que el espesor nominal del tramo de tubería comprendido entre el vaporizador y el equipo de regulación es de 3,25 mm.



Para poder dimensionar la tubería comprendida entre el depósito y el equipo de regulación es necesario conocer el caudal de GLP que se puede vaporizar de manera natural con la ecuación (Eq. 6.3):

$$Q = \frac{S \cdot k \cdot a \cdot (T_e - T_i)}{Q_{LV}} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

Donde:

Q: Capacidad de vaporización del propano [kg/h]

S: Superficie total del depósito [ $\text{m}^2$ ]

k: Coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes del depósito [ $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]. Su valor depende de la humedad relativa ambiental y del viento. Para una situación normal y viento en calma, se obtiene un valor de  $k=0,014 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Ahora bien, como valor promedio de diferentes situaciones se toma para depósitos aéreos  $k=0,0116 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  y para depósitos enterrados se toma  $k=0,0086 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

a: Porcentaje de superficie del depósito mojada, en contacto con el líquido. El valor de este parámetro es función del % de llenado del depósito, tal y como muestra la Tabla 6.7.

% de llenado	a
10	0,26
20	0,34
30	0,40
40	0,45

**Tabla 6.7.** Factor “a” en función del % de llenado del depósito

$T_e$ : Temperatura exterior del ambiente en el que está instalado el depósito [ $^\circ\text{C}$ ].

$T_i$ : Temperatura de equilibrio líquido-gas en el interior del depósito [ $^\circ\text{C}$ ]. Depende de la temperatura de vaporización que se corresponde con la presión de servicio de la red.

$Q_{LV}$ : Calor latente de vaporización del propano [ $\text{kWh/kg}$ ]. Se toma un valor de  $0,11 \text{ kWh/kg}$ .



El cálculo del caudal de vaporización natural se realiza para la situación más crítica, cuando se vaporiza más GLP, es decir, cuando la temperatura exterior es más elevada y la presión en el interior del depósito es la más baja posible. Los valores utilizados para el cálculo se reflejan en la Tabla 6.8.

Variable	Unidades	Valor
S	m <sup>2</sup>	103,7 <sup>(1)</sup>
k	kW/(m <sup>2</sup> ·°C)	0,0116
a	-	0,45
T <sub>e</sub>	°C	35
T <sub>i</sub>	°C	-25,45 <sup>(2)</sup>
Q <sub>LV</sub>	kWh/kg	0,11
Q	kg/h	297,48

**Tabla 6.8.** Cálculo caudal de vaporización natural

Notas: <sup>(1)</sup> La superficie del depósito es directamente proporcional al volumen del depósito. Se considera un depósito de 52,8 m<sup>3</sup> y se obtiene la superficie de un catálogo de proveedores. [7]

<sup>(2)</sup> Temperatura de equilibrio líquido-vapor a una presión de 2 bar.

El cálculo del diámetro mínimo y del espesor del tramo de tubería comprendido entre el depósito y el equipo de regulación se realiza con los valores de las Tablas 6.9 y 6.10, respectivamente.

Variable	Significado	Unidades	Valor
Q	Caudal tubería	kg/h	297,48
$\nu$	Volumen específico del gas a 2 bar y 247,7 K <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg	0,21918
v	Velocidad máxima admisible del gas en la tubería <sup>(2)</sup>	m/s	20
D <sub>i</sub>	Diámetro mínimo de la tubería	mm	33,96
DN	Diámetro nominal de la tubería	mm	<b>DN40</b>

**Tabla 6.9.** Cálculo diámetro tubería rampa vaporización natural

Notas: <sup>(1)</sup> Temperatura de equilibrio líquido-vapor a una presión de 2 bar.

<sup>(2)</sup> La norma UNE 60.670-4 establece que la velocidad del gas en el interior de una tubería no debe superar los 20 m/s a fin de evitar ruidos y vibraciones.



Para la rampa de vaporización natural se escoge un diámetro de tubería inmediatamente superior al obtenido mediante los cálculos, DN40, que coincide con el de la rampa de vaporización forzada. De este modo, en el punto en el que se unen ambas conducciones se evita la presencia de ampliaciones y sus consecuentes pérdidas de carga en la línea.

Variable	Significado	Unidades	Valor
P	Presión de cálculo	bar	30
D <sub>e</sub>	Diámetro exterior teórico del tubo <sup>(1)</sup>	mm	48,3
σ <sub>e</sub>	Límite elástico mínimo especificado <sup>(2)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	240
F	Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento <sup>(3)</sup>	-	0,40
C	Factor de eficiencia de la soldadura <sup>(4)</sup>	-	1
e	Espesor de la tubería	mm	0,7547

**Tabla 6.10.** Cálculo espesor tubería rampa vaporización natural

Notas: <sup>(1)</sup> Tabla II de la norma UNE 60.309.

<sup>(2)</sup> Límite elástico del acero al carbono ASTM A 106-B

<sup>(3)</sup> Norma UNE 60.305 y UNE 60.302. Emplazamiento de categoría 4ª que comprende las zonas en las que predominan edificios de 4 o más plantas, hay tráfico rodado pesado e intenso y/o abundancia de servicios.

<sup>(4)</sup> Norma UNE 60.309, "Soldadura longitudinal eléctrica por resistencia o inducción"

A pesar del valor del espesor calculado, se deben respetar una serie de espesores mínimos indispensables por cuestiones de montaje, soldadura, transporte, etc., según la norma UNE 60.309-83, y lo especificado en la norma DIN 2440.

	Cálculo espesor Norma 60.309-83	Espesor mínimo Norma 60.309-83	Espesor mínimo Norma DIN 2440
<b>Espesor [mm]</b>	0,75	2,60	3,25

**Tabla 6.11.** Cálculo del espesor de la tubería rampa vaporización natural

De manera que el espesor nominal de este tramo de tubería es de 3,25 mm, según la norma DIN 2440.



### **Conducción de fase gaseosa tras la regulación**

Los valores para los cálculos del diámetro mínimo y para el espesor de este tramo de tubería se muestran en las Tablas 6.12 y 6.13, respectivamente.

Variable	Significado	Unidades	Valor
Q	Caudal tubería	kg/h	500,00
$\nu$	Volumen específico del gas a 1 bar y 320 K <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg	0,59568
v	Velocidad máxima admisible del gas en la tubería <sup>(2)</sup>	m/s	20
D <sub>i</sub>	Diámetro mínimo interior de la tubería	mm	72,57
DN	Diámetro nominal de la tubería	mm	<b>DN80</b>

**Tabla 6.12.** Cálculo diámetro tubería tras la regulación

Notas: <sup>(1)</sup> La temperatura del gas en el interior de la tubería no debe superar los 50 °C a fin de evitar la polimerización de los hidrocarburos no saturados.

<sup>(2)</sup> La norma UNE 60.670-4 establece que la velocidad del gas en el interior de una tubería no debe superar los 20 m/s a fin de evitar ruidos y vibraciones.

Se escoge un diámetro inmediatamente superior al obtenido mediante los cálculos, DN80.

Variable	Significado	Unidades	Valor
P	Presión de cálculo	bar	5
D <sub>e</sub>	Diámetro exterior teórico del tubo <sup>(1)</sup>	mm	88,9
$\sigma_e$	Límite elástico mínimo especificado <sup>(2)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	240
F	Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento <sup>(3)</sup>	-	0,40
C	Factor de eficiencia de la soldadura <sup>(4)</sup>	-	1
e	Espesor de la tubería	mm	0,2315

**Tabla 6.13.** Cálculo del espesor de la tubería tras la regulación

Notas: <sup>(1)</sup> Tabla II de la norma UNE 60.309.

<sup>(2)</sup> Límite elástico del acero al carbono ASTM A 106-B

<sup>(3)</sup> Norma UNE 60.305 y UNE 60.302. Emplazamiento de categoría 4ª que comprende las zonas en las que predominan edificios de 4 o más plantas, hay tráfico rodado pesado e intenso y/o abundancia de servicios.

<sup>(4)</sup> Norma UNE 60.309, "Soldadura longitudinal eléctrica por resistencia o inducción"



A pesar del valor del espesor calculado, se deben respetar una serie de espesores mínimos indispensables por cuestiones de montaje, soldadura, transporte, etc., según la norma UNE 60.309-83, y lo especificado en la norma DIN 2440.

	<b>Cálculo espesor Norma 60.309-83</b>	<b>Espesor mínimo Norma 60.309-83</b>	<b>Espesor mínimo Norma DIN 2440</b>
<b>Espesor [mm]</b>	0,23	3,18	4,05

**Tabla 6.14.** Cálculo del espesor de la tubería tras la regulación

De manera que el espesor nominal de este tramo de tubería es de 4,05 mm, según la norma DIN 2440.

#### **Conducción de fase gaseosa suministro a caldera previo a regulador de presión**

La Tabla 6.15 incluida en el apartado de especificaciones técnicas define el diámetro y el caudal de la línea de alimentación a la caldera antes de los reguladores de la instalación del vaporizador en función de la capacidad de vaporización de la planta. En este caso es de ½" de diámetro y 4,2 kg/h, respectivamente.

<b>Capacidad de vaporización planta [kg/h]</b>	<b>Caudal de alimentación calderas [kg/h]</b>	<b>Ø línea alimentación conjunto calderas antes de reguladores</b>
500	4,2	½ "
750	6,3	½ "
1.000	8,4	½ "

**Tabla 6.15.** Diámetro y caudal línea de alimentación en base a la capacidad de vaporizador





La Tabla 6.16 resume el cálculo del espesor de este tramo de tubería.

Variable	Significado	Unidades	Valor
P	Presión de cálculo	bar	3
D <sub>e</sub>	Diámetro exterior teórico del tubo	mm	21,3
$\sigma_e$	Límite elástico mínimo especificado <sup>(1)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	240
F	Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento <sup>(2)</sup>	-	0,40
C	Factor de eficiencia de la soldadura <sup>(3)</sup>	-	1
e	Espesor de la tubería	mm	0,0333

**Tabla 6.16.** Cálculo espesor tubería fase gaseosa caldera previo al regulador

Notas: <sup>(1)</sup> Límite elástico del acero al carbono ASTM A 106-B

<sup>(2)</sup> Norma UNE 60.305 y UNE 60.302. Emplazamiento de categoría 4ª que comprende las zonas en las que predominan edificios de 4 o más plantas, hay tráfico rodado pesado e intenso y/o abundancia de servicios.

<sup>(3)</sup> Norma UNE 60.309, "Soldadura longitudinal eléctrica por resistencia o inducción"

A pesar del valor del espesor calculado, se deben respetar una serie de espesores mínimos indispensables por cuestiones de montaje, soldadura, transporte, etc., según lo especificado en la norma DIN 2440.

	Cálculo espesor Norma 60.309-83	Espesor mínimo Norma DIN 2440
Espesor [mm]	0,03	2,65

**Tabla 6.17.** Cálculo espesor tubería de fase gaseosa caldera previo al regulador

De manera que el espesor nominal de la tubería es de 2,65 mm, según la norma DIN 2440.

### **Conducción de fase gaseosa suministro a caldera tras regulador de presión**

El cálculo del diámetro de la tubería tras el regulador se realiza del mismo modo descrito en los apartados anteriores, sustituyendo los valores de la Tabla 6.18 en la ecuación (Eq.6.1).



Variable	Significado	Unidades	Valor
Q	Caudal tubería	kg/h	4,20
$\nu$	Volumen específico del gas a 1 bar y 320 K <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg	0,59568
v	Velocidad máxima admisible del gas en la tubería <sup>(2)</sup>	m/s	10
D <sub>i</sub>	Diámetro mínimo interior de la tubería	mm	9,41
DN	Diámetro nominal de la tubería	mm	<b>DN25</b>

**Tabla 6.18.** Cálculo diámetro tubería de fase gaseosa hacia caldera tras el regulador

Notas: <sup>(1)</sup> La temperatura del gas en el interior de la tubería no debe superar los 50 °C a fin de evitar la polimerización de los hidrocarburos no saturados.

<sup>(2)</sup> La velocidad del gas en el interior de una tubería a baja presión no debe superar los 10 m/s a fin de evitar ruidos y vibraciones.

Según indicaciones del cliente al valorar positivamente el incremento de sección a la salida de los reguladores, se escoge un diámetro inmediatamente superior al obtenido mediante los cálculos y superior también al existente aguas arriba del regulador, DN25.

Para el cálculo del espesor de la tubería tras el regulador se sustituyen los valores de la Tabla 6.19 en la ecuación (Eq.6.2).

Variable	Significado	Unidades	Valor
P	Presión de cálculo	bar	3
D <sub>e</sub>	Diámetro exterior teórico del tubo <sup>(1)</sup>	mm	33,7
$\sigma_e$	Límite elástico mínimo especificado <sup>(2)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	240
F	Coeficiente de cálculo correspondiente a la categoría de emplazamiento <sup>(3)</sup>	-	0,40
C	Factor de eficiencia de la soldadura <sup>(4)</sup>	-	1
e	Espesor de la tubería	mm	0,0527

**Tabla 6.19.** Cálculo espesor tubería fase gaseosa hacia caldera tras el regulador

Notas: <sup>(1)</sup> Tabla II de la norma UNE 60.309.

<sup>(2)</sup> Límite elástico del acero al carbono ASTM A 106-B

<sup>(3)</sup> Norma UNE 60.305 y UNE 60.302. Emplazamiento de categoría 4ª que comprende las zonas en las que predominan edificios de 4 o más plantas, hay tráfico rodado pesado e intenso y/o abundancia de servicios.

<sup>(4)</sup> Norma UNE 60.309, "Soldadura longitudinal eléctrica por resistencia o inducción"



Se deben respetar una serie de espesores mínimos indispensables por cuestiones de montaje, soldadura, transporte, etc., según la norma UNE 60.309-83, y lo especificado en la norma DIN 2440.

	<b>Cálculo espesor Norma 60.309-83</b>	<b>Espesor mínimo Norma 60.309-83</b>	<b>Espesor mínimo Norma DIN 2440</b>
<b>Espesor [mm]</b>	0,05	2,60	3,25

**Tabla 6.20.** Cálculo espesor tubería fase gaseosa hacia caldera tras el regulador

De manera que el espesor nominal de la tubería es de 3,25 mm, según la norma DIN 2440.

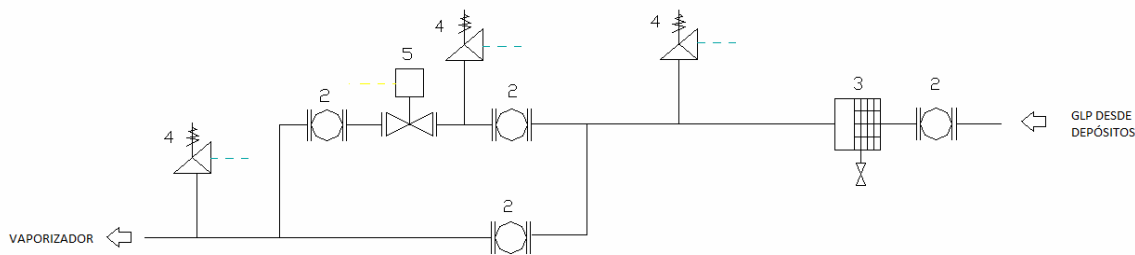
### 6.3. Conducción de fase líquida de entrada al vaporizador

La canalización que transporta el GLP en fase líquida procedente del depósito hasta el vaporizador es aérea, DN32, de 1.935 mm de longitud y está calculada para soportar una presión máxima de 20 bar y una presión de prueba de 29 bar. Según la norma UNE 60.250, aunque por tratarse de fase líquida no le sea de aplicación, la construcción de la canalización se realiza de acuerdo con lo indicado en la Norma UNE 60.310.

Respetando las especificaciones del cliente, la tubería es de acero al carbono DIN 2440 según UNE EN 10.208-2. Se escoge un acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10 para su fabricación y las soldaduras de este tramo van radiografiadas al 100% por personal cualificado, de acuerdo con la norma UNE-EN 12517-1. La tubería se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura, siendo ésta de color rojo según la norma UNE 60.250 para las tuberías destinadas a la fase líquida.

Este tramo de tubería dispone de un filtro (Fig.6.7, Pos.3) al inicio de la misma, de 4 válvulas de corte (Fig.6.7, Pos.2), una electroválvula (Fig.6.7, Pos.5) y de 3 válvulas de seguridad (Fig.6.7, Pos.4). Para diámetros iguales o inferiores a DN50 y con presión nominal igual o inferior a PN 16 kg/cm<sup>2</sup> las válvulas serán roscadas; y para diámetros o presiones superiores serán de montaje con bridas, por lo que en este tramo todas las conexiones son embridadas PN 40 a fin de evitar problemas de fugas en la instalación.





**Figura 6.7.** Conducción de fase líquida de entrada al vaporizador

### 6.3.1. Válvulas de corte

En este tramo se instalan un total de 4 válvulas de bola DN32 PN40 marca Kitz “iso” modelo F14D embridadas de paso total y accionamiento mediante palanca, tipo Wafer fire-safe, con el cuerpo y la bola de acero inoxidable y el asiento de teflón. La marca de las válvulas se ha escogido tras realizar un estudio previo de las cotizaciones recibidas de varios proveedores, valorando la relación calidad-precio.

Se sitúan dos válvulas de corte, una antes, una después de la electroválvula y otra en la derivación, a través de la cual y solo en caso de avería de la electroválvula, se conduciría el GLP al vaporizador. De este modo, se permite su desmontaje sin tener que paralizar el funcionamiento de la instalación. La cuarta válvula de corte está situada justo en la entrada de GLP líquido desde los depósitos para poder aislar el sistema y permitir o impedir la entrada de GLP.



**Figura 6.8.** Válvula de bola tipo Wafer fire-safe [8]

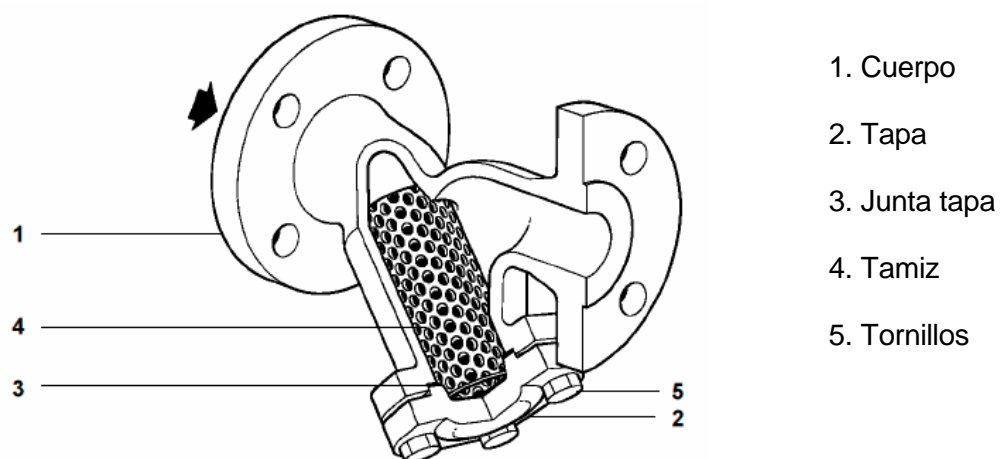


### 6.3.2. Filtro

Justo a la salida del depósito y tras la primera válvula de corte, se dispone de un filtro con válvula de purga con el fin de evitar la llegada de impurezas al sistema.

El filtro es de tipo “Y” DN32 PN40, Spirax Sarco Fig.34, con bridas, el cuerpo de acero al carbono y el tamiz de acero inoxidable con las perforaciones de 0,8 mm. Se escoge esta marca porque es con la que trabaja el proveedor habitual de la empresa desde hace muchos años y presenta una mejor relación calidad-precio en comparación con otros proveedores.

Este tipo de filtros presenta una construcción robusta y un diseño simple. Se puede acceder de manera fácil a sus partes internas y contiene un depósito donde se acumula el material que se desea eliminar y que posteriormente se retira a través de la conexión de purga provista de un tapón roscado.



**Figura 6.9.** Filtro en “Y” y sus partes [9]

### 6.3.3. Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad se colocan en las líneas o equipos para evitar un aumento excesivo de la presión o temperatura del fluido que contienen. Son unos dispositivos destinados a liberar cualquier sobrepresión interior excesiva a la que pueda verse sometida la canalización con el fin de protegerla. Por este motivo, se deben situar en los tramos que quedan aislados entre dos válvulas de corte.



El tipo más corriente de válvula limitadora de presión es una válvula de asiento en la que el obturador permanece cerrado por la acción de un muelle o de un contrapeso. Cuando la presión del fluido alcanza un valor prefijado, la presión de tarado, se produce la apertura del obturador, que no cierra hasta que la presión no desciende una cierta cantidad por debajo de dicho valor.

Al abrir la válvula, el fluido puede descargar directamente a la atmósfera si hablamos de válvulas de escape conducido o a través de una tubería como es el caso de las válvulas de escape conducido.

Al encontrarse en el interior de una caseta y tratarse de un fluido altamente inflamable, las válvulas de seguridad son de escape conducido y su descarga se conduce al exterior del local mediante una tubería de acero vertical y a una altura mínima de 4 metros sobre el terreno y a 1 metro sobre el punto más alto de la cubierta, tal y como indica la norma UNE 60250. Todas las salidas de las válvulas de seguridad están unidas entre sí y desembocan en un colector de venteo con salida única.

El cálculo del diámetro de la tubería de descarga se realiza según lo indicado en la norma NTP 346 “Válvulas de seguridad (II): capacidad de alivio y dimensionado” en el apartado dedicado al dimensionamiento para líquidos con la ecuación (Eq. 6.4). [16]

$$A = \frac{Q}{3,642 \cdot K_v \cdot K_p} \sqrt{\frac{d_{ro}}{P_{abs} - P_{tara}}} \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Donde:

A: Sección neta de descarga de la válvula [cm<sup>2</sup>].

Q: Caudal de líquido [m<sup>3</sup>/h].

d<sub>ro</sub>: Densidad relativa del fluido respecto al agua a la temperatura de trabajo.

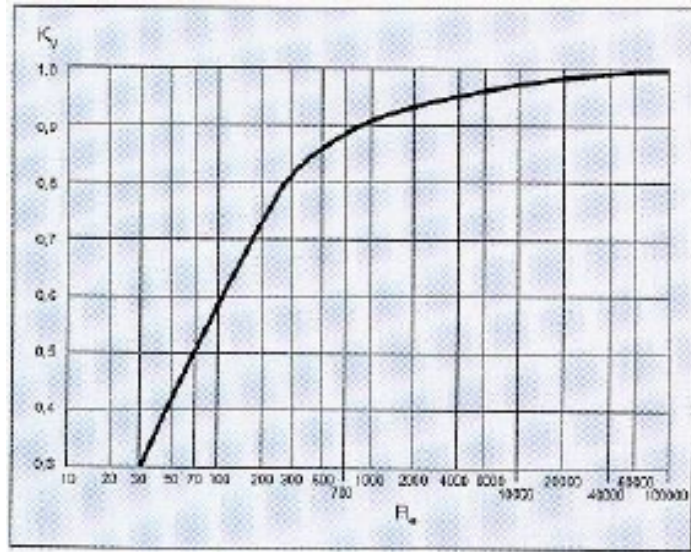
K<sub>v</sub>: Coeficiente de corrección de viscosidad. (Ver Figura 6.10.).

K<sub>p</sub>: Coeficiente de contrapresión. (Ver Figura 6.11.).

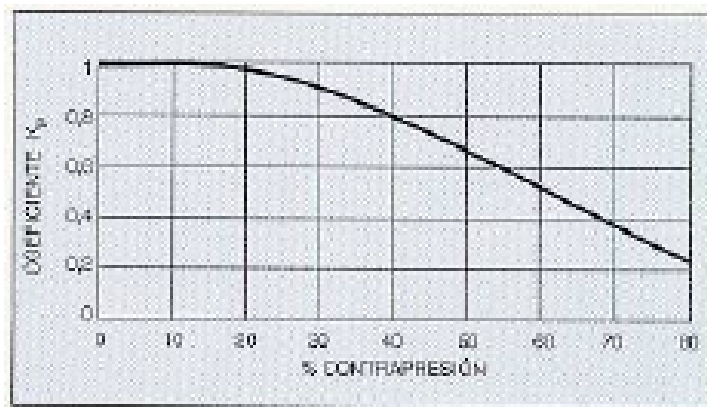
P<sub>abs</sub>: Presión absoluta [bar].

P<sub>tara</sub>: Presión de tarado de la válvula de seguridad [bar].





**Figura 6.10.** Coeficiente  $K_v$  de corrección de viscosidad



**Figura 6.11.** Coeficiente  $K_p$  de contrapresión

El valor del coeficiente de corrección de la viscosidad es función del número de Reynolds (Eq. 6.5).

$$Re = \frac{v \cdot D_i \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

v: Velocidad del fluido [m/s]

$D_i$ : Diámetro interior de la tubería [m]

$\rho$ : Densidad del fluido [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido [ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ ]



Los cálculos y resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6.21 que se muestra a continuación.

Variable	Significado	Unidades	Valor
<b>Condiciones del fluido</b>			
$P_{\text{tara}}$	Presión de tarado	bar	20
$P_{\text{atm}}$	Presión atmosférica	bar	1,013
$P_{\text{abs}}$	Presión absoluta	bar	23,013
$T$	Temperatura	K	330
$\rho$	Densidad del fluido	kg/m <sup>3</sup>	433,28
$\mu$	Viscosidad dinámica del fluido	kg/(m·s)	0,00009
<b>Cálculo del área de la válvula de seguridad</b>			
$Q$	Caudal de alivio	m <sup>3</sup> /h	1,154
$v$	Velocidad del fluido en la tubería	m/s	20
$D_i$	Diámetro interior de la tubería	m	0,032
$Re$	Número de Reynolds	-	3.081.102,2
$K_v$	Coeficiente de corrección de viscosidad	-	1
$K_p$	Coeficiente de contrapresión	-	1
$A$	Área de descarga de la válvula	mm <sup>2</sup>	12,016
$D$	Diámetro	mm	3,911

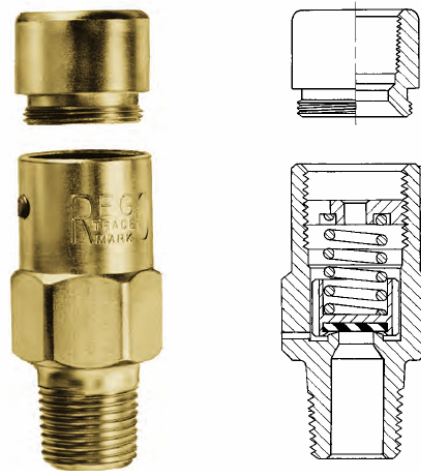
**Tabla 6.21.** Cálculo del área de la válvula de seguridad tramo GLP líquido tarada a 20 bar

El diámetro de la tubería de descarga escogido es DN15 porque es el mínimo habitual con el que se suele trabajar.

En este tramo de tubería se colocan un total de tres válvulas de seguridad de escape conducido Rego, modelo 3129G de bronce, con conexión roscada ½" NPT y taradas a la máxima presión de servicio, a 20 bares, en cada uno de los tramos de tubería que quedan aislados entre dos válvulas de corte. Se escoge la marca Rego debido a la relación comercial que mantiene la empresa con esta firma desde hace años.







**Figura 6.12.** Válvula de seguridad Rego modelo 3129G [17]

#### **6.3.4. Electroválvula de entrada al vaporizador**

En la alimentación de fase líquida al vaporizador se sitúa una electroválvula enclavada con un termostato situado en la tubería de agua de retorno a la caldera, que cierra la electroválvula y por lo tanto impide el paso del GLP hacia el vaporizador cuando la temperatura del agua es inferior a la mínima de diseño, 35 °C según las especificaciones del cliente, y con un detector de máximo nivel que está instalado en el propio vaporizador que también provoca el cierre de la electroválvula cuando el nivel de líquido en su interior sube por encima de un nivel prefijado.

Se instala una electroválvula modelo ASCO, marca indicada por el cliente, con protección antideflagrante EExd, para el grupo IIB y clase de temperatura T4. El índice de protección es IP55 y dispone de prensaestopas antideflagrantes. El equipo permite el retorno de la fase líquida en contracorriente cuando se supera una presión diferencial de 800 mbar entre la salida y la entrada de la electroválvula. La alimentación eléctrica del equipo es de 220 VAC y la conexión se realiza en la posición NC, normalmente cerrada.

El diámetro de la electroválvula escogida es DN25 porque según las especificaciones del cliente, tiene que ser de pistón, y para diámetros superiores a una pulgada la mayoría de los fabricantes no las realizan de pistón, sino de diafragma. Por este motivo, es necesario realizar una reducción en la tubería pasando de DN32 a DN25 para situar la electroválvula y posteriormente una ampliación del diámetro de la tubería pasando de DN25 a DN32.





**Figura 6.13.** Electroválvula antideflagrante ASCO [18]

#### **6.4. Conducción de fase gaseosa previa a la regulación**

La canalización de fase gas que transporta el GLP desde la salida del vaporizador o desde los depósitos hasta el equipo de regulación es aérea, DN40, de 2.210 mm de longitud y está diseñada para una presión de trabajo entorno de los 12 bar, por lo que su construcción se realiza de acuerdo con lo indicado en la Norma 60.310.

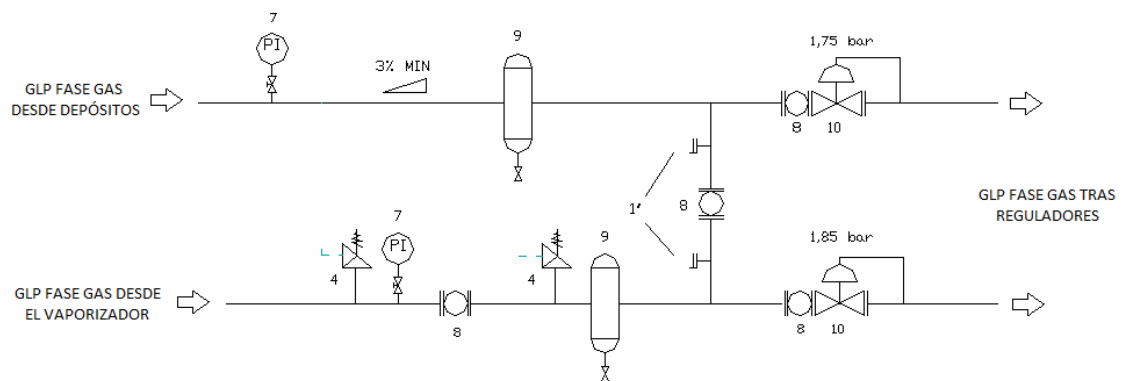
Este tramo está formado por dos conducciones en paralelo, una procedente de la vaporización natural del depósito y otra de la vaporización forzada del vaporizador, que se unen antes de llegar a la regulación mediante una tubería del mismo diámetro, DN40.

Según las especificaciones del cliente, la tubería es de acero al carbono DIN 2440 según UNE EN 10.208-2. Se escoge un acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10 para su fabricación y las soldaduras de este tramo van radiografiadas al 100% por personal cualificado, de acuerdo con la norma UNE-EN 12517-1. Se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura, siendo ésta de color amarillo según la norma UNE 60.250 para las tuberías destinadas a la fase gas.

A la tubería que conecta el depósito con el conjunto de regulación se le dota de una pendiente de un 3%, descendiendo hacia el depósito, para que en caso de que se produzcan condensados, se facilite su recogida retornando al depósito. Y todos los accesorios y elementos auxiliares instalados antes de la regulación están diseñados para soportar, como mínimo, una presión máxima de operación de 20 bar.



Este tramo de tubería dispone de 4 válvulas de corte (Fig.6.14, Pos.8), 2 válvulas de seguridad (Fig.6.14, Pos.4), 2 manómetros (Fig.6.14, Pos.7) y 2 calderines de condensados (Fig.6.14, Pos.9). Todas las uniones de este tramo son embridadas PN40 en lugar de roscadas, pues para PN40 o superiores se suelen suministrar con bridas a fin de evitar problemas de fugas uniones de este tramo en la instalación.



**Figura 6.14.** Conducción de fase gaseosa previa a la regulación

#### 6.4.1. Válvulas de corte

En este tramo se instalan un total de 4 válvulas de bola DN40 PN40 marca Kitz “iso” modelo F14D embridada de paso total y accionamiento mediante palanca, tipo Wafer fire-safe, con el cuerpo y la bola de acero inoxidable y el asiento de teflón.

Se sitúa una válvula de corte antes del calderín de condensados de la tubería de vaporización forzada para poder cerrar el suministro de gas proveniente del vaporizador. Dos antes de cada uno de los reguladores de presión y una última en el tramo que une la rampa de vaporización natural con la rampa de vaporización forzada (ver apartado 6.5).



**Figura 6.15.** Válvula de bola tipo Wafer FIRE-safe [8]



### 6.4.2. Válvulas de seguridad

Según lo comentado en el apartado 6.3.3., en un tramo de tubería que queda aislado entre dos válvulas de corte se debe situar una válvula de seguridad. En este caso también son de escape conducido ya que se trata de GLP.

Para el cálculo del diámetro de la tubería de descarga se utiliza la ecuación (Eq. 6.6) de la norma NTP 346 “Válvulas de seguridad (II): capacidad de alivio y dimensionado” en el apartado dedicado al dimensionamiento para gases y vapores. [16]

$$A = \frac{Q}{0,76 \cdot C_n \cdot K_d \cdot P_{abs}} \sqrt{\frac{Z \cdot T}{M}} \quad (\text{Eq. 6.6})$$

Donde:

A: Sección neta de descarga de la válvula de seguridad [cm<sup>2</sup>].

Q: Caudal de alivio [kg/h].

C<sub>n</sub>: Coeficiente definido en función de la relación  $n=C_p/C_v$ .

$$C_n = 520 \cdot \sqrt{n \cdot \left(\frac{2}{n+1}\right)^{\frac{n+1}{n-1}}} \quad (\text{Eq. 6.7})$$

K<sub>d</sub>: Coeficiente de descarga a facilitar por el fabricante de la válvula y para aplicación con hidrocarburos. Si no se conoce, se puede utilizar la Figura 6.16 para hidrocarburos y para el resto tomar el valor 1.

P<sub>abs</sub>: Presión absoluta [bar].

Z: Factor de compresibilidad del gas en las condiciones de presión y temperatura del alivio.

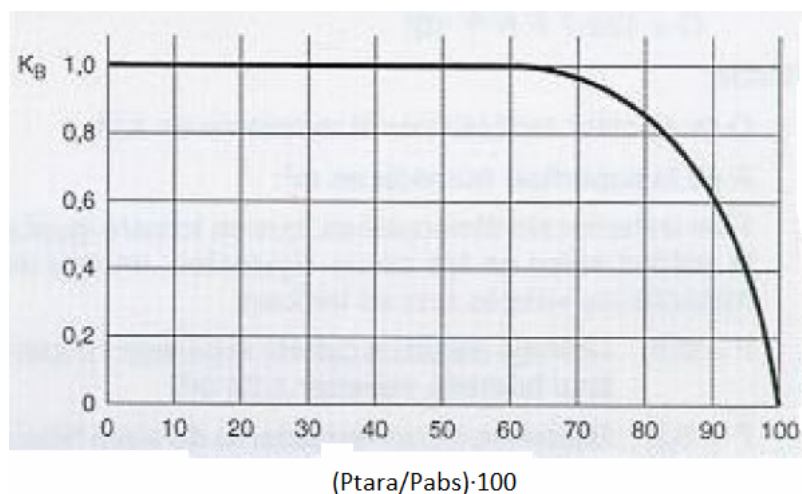
$$Z = Z^0 + w \cdot Z^1 \quad (\text{Eq. 6.8})$$

Entrando en las tablas del factor de compresibilidad de Lee-Kesler [19] se obtienen los valores de Z<sup>0</sup> y de Z<sup>1</sup> en función de la presión crítica y de la temperatura crítica del fluido.

T: Temperatura del fluido absoluta [K].

M: Peso molecular [g/mol].





**Figura 6.16.** Coeficiente de descarga  $K_d$

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6.22 que se muestra a continuación.

Variable	Significado	Unidades	Valor
<b>Condiciones del fluido</b>			
$P_{tara}$	Presión de tarado	bar	20
$P_{atm}$	Presión atmosférica	bar	1,013
$P_{abs}$	Presión absoluta	bar	23,013
$T$	Temperatura	K	340
$M$	Peso molecular	g/mol	44
$T_c$	Temperatura crítica	K	369,99
$P_c$	Presión crítica	bar	42,65
$C_p$	Calor a presión constante	kJ/(kg·K)	1,679
$C_v$	Calor a volumen constante	kJ/(kg·K)	1,49
$w$	Coeficiente	-	0,153
<b>Cálculo del factor de compresibilidad Z</b>			
$T_r$	Temperatura reducida	-	0,919
$P_r$	Presión reducida	-	0,540
$Z^0$	Coeficiente tabla de Lee-Kesler	-	0,707

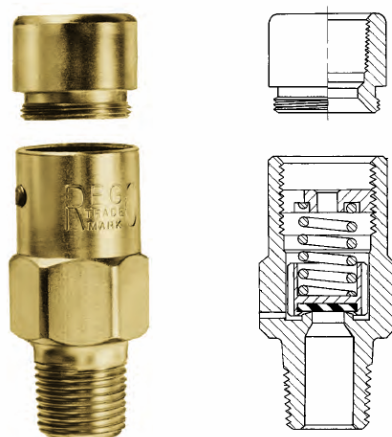


<b>Z<sup>1</sup></b>	Coeficiente tabla de Lee-Kesler	-	-0,061
<b>Z</b>	Factor de compresibilidad	-	0,700
<b>Cálculo del área de la válvula de seguridad</b>			
<b>Q</b>	Caudal de alivio	kg/h	500
<b>C<sub>n</sub></b>	Coeficiente de calores específicos	-	329,6
<b>K<sub>d</sub></b>	Coeficiente de descarga	-	0,70
<b>A</b>	Área de descarga de la válvula	mm <sup>2</sup>	28,75
<b>D</b>	Diámetro	mm	6,051

**Tabla 6.22.** Cálculo del área de la válvula de seguridad tramo GLP gas tarada a 20 bar

El diámetro de la tubería de descarga escogido es DN15 porque es el mínimo habitual con el que se suele trabajar, y es el mismo que para las válvulas de descarga del tramo que transporta GLP líquido desde el depósito al vaporizador.

En este tramo se disponen de un total de dos válvulas de seguridad Rego de escape conducido, modelo 3129G de bronce, con conexión roscada ½" NPT y taradas a 20 bares, presión a partir de la cual dichas válvulas empiezan a ventear para aliviar el exceso de presión en la canalización. Sus salidas de escape conducido desembocan en un colector de venteo común a las conducciones de las otras válvulas. Se escoge la marca Rego debido a la relación comercial que mantiene la empresa con esta firma desde hace años.



**Figura 6.17.** Válvula de seguridad Rego modelo 3129G [17]



### 6.4.3. Manómetros y válvulas de aguja

En este tramo se sitúan dos manómetros WIKA de 0 a 25 bar, de 63 mm de diámetro, con válvula de aguja portamanómetro y conexión roscada 1/4" NPT. La marca escogida se debe a la larga relación comercial que existe entre Marlia Ingenieros, S.L. y WIKA. Uno de ellos se sitúa en la rampa de vaporización natural que es la entrada de GLP gas desde depósitos, y el otro en la rampa de vaporización forzada, a la salida de la fase gas que sale del vaporizador. La finalidad de estos elementos es la de verificar que la presión en la línea es la adecuada.

Disponen además de unas válvulas de aguja para solucionar posibles fugas a través de los manómetros en la instalación. Este tipo de válvulas son buenas reguladoras de caudal, con poco desgaste y cavitación a grandes presiones diferenciales. Esto es debido a la forma cónica larga del elemento de la válvula, que permite que la superficie de asiento sea mucho más pequeña que el de otro tipo de válvulas; y a que el desplazamiento del vástago, si es de rosca fina, como es lento, provoca que hasta que éste no se gira un buen número de vueltas, la sección de paso del fluido es mínima. Estas son las razones por las que se suelen utilizar para controlar el flujo en manómetros delicados que puedan verse dañados por variaciones repentinas del fluido bajo presión.



**Figura 6.18.** Manómetro WIKA de 0-25 bar [20]



#### 6.4.4. Calderines de condensados

El calentamiento del GLP en el vaporizador a temperaturas superiores a 50-60 °C provoca la gasificación de las pequeñas cantidades de hidrocarburos  $C_5$ , resinas, que pueden estar presentes en la composición del propano comercial y que posteriormente se condensan en la instalación al descender la temperatura de la fase gaseosa, por ejemplo, cuando se expande en los reguladores de presión, formando depósitos que dificultan el funcionamiento de los propios reguladores o que pueden llegar hasta los aparatos de consumo. También se puede producir la polimerización de compuestos olefínicos existentes en el GLP y que arrastrados por la fase gaseosa se acumulan en la instalación.

Para facilitar la evacuación de los posibles condensados de las líneas de fase gaseosa y evitar que éstos lleguen a las etapas de regulación, se dispone de dos recipientes de recogida de condensados de un volumen de 5 litros cada uno según especificaciones del cliente, con sus respectivas válvulas de purga y diseñados para una MOP de 26 bar. Uno de ellos se sitúa en la rampa de vaporización natural y el otro en la rampa de vaporización forzada, ambos antes de los reguladores.

El diámetro de los calderines se elige respetando el diámetro mínimo en función del caudal demandado indicado en la Tabla 6.23 facilitada por el cliente.

Caudal demandado Q [kg/h]	Diámetro mínimo calderín DN [mm]
$0 < Q \leq 250$	DN25
$250 < Q \leq 500$	DN40
$500 < Q \leq 750$	DN40
$750 < Q \leq 1.000$	DN50

**Tabla 6.23.** Diámetro mínimo del calderón

Al tener un volumen de 5 litros cada uno, la unidad se fabrica mediante un tramo de tubería de diámetro nominal DN80 en acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10 y de 800 mm de longitud. Se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura, siendo ésta de color amarillo al tratarse de un tramo de tubería destinado a la fase gas. Cada uno dispone de una válvula de purga de 1/4" roscada NPT.





## 6.5. Equipo de regulación

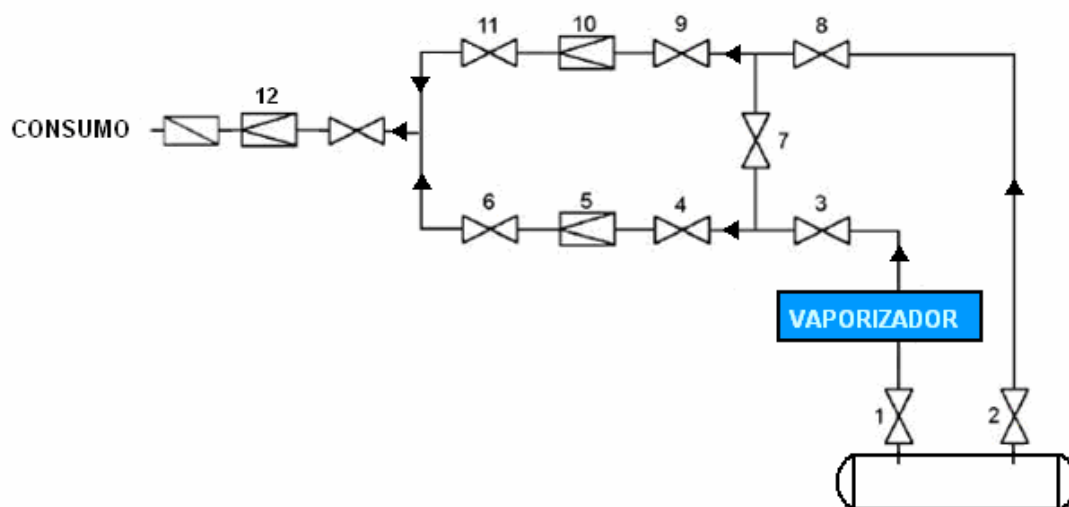
Está formado por un regulador como elemento principal, llaves de paso, válvulas, tomas de presión, manómetros, tuberías de conexión y los accesorios necesarios para que el gas fluya desde el depósito de almacenamiento hasta una parte de la instalación con unas determinadas condiciones, para obtener unas garantías de suministro mínimas de seguridad y funcionamiento.

La fase gaseosa obtenida en el vaporizador tras producirse el cambio de fase se encuentra a una presión que depende de la temperatura, por lo que antes de pasar a la red de distribución se ha de disponer un regulador que permita mantener constante la presión en la instalación receptora o red de distribución.

Un regulador por lo tanto, es un dispositivo destinado a reducir de forma automática una presión de gas que le llega y comprendida entre unos límites determinados, a otra que se mantiene automáticamente constante dentro de un rango de caudales definido, para cada valor de presión de entrada. La diferencia que existe entre la presión mínima de entrada y la presión nominal de salida es la pérdida de carga del regulador. Cuanta menor sea esta pérdida de carga mayor posibilidad de utilización tendrá el regulador, ya que se podrá disponer de una mayor presión disponible aguas arriba.

Hay que tener en cuenta que en un primer lugar se utiliza la vaporización natural procedente del depósito que contiene el GLP y que en el momento en el que el caudal ofrecido sea insuficiente para cubrir la demanda de gas, se utilizará la vaporización forzada poniéndose en funcionamiento el vaporizador. Por este motivo, se realiza el siguiente montaje que consiste en disponer de dos líneas en paralelo desde el depósito y desde el vaporizador, tal y como muestra la Figura 6.19.





**Figura 6.19.** Equipo de regulación vaporización feed-out

En el momento en el que empieza a funcionar el vaporizador porque el gas producido por la vaporización natural es insuficiente, interesa que trabaje esa línea y que la línea directa del depósito quede en reserva. Esto se consigue tarando el regulador número 5 a una presión más elevada que el regulador número 10, de este modo la presión de salida del regulador 5 vence a la del regulador 10 y éste último se cierra.

En el caso de que se produjera una avería en el vaporizador, el gas podría fluir directamente del depósito a partir de la vaporización natural del mismo de las siguientes formas:

- Pasando por el regulador número 10. La única llave de paso cerrada es la número 7, de este modo, la regulación es automática, ya que sin la acción exterior la línea directa se pone en funcionamiento cuando la presión del regulador 5 está por debajo del valor de tarado del regulador 10.

- Pasando por el regulador 5 y estando las llaves 3, 9 y 11 cerradas y la llave 7 abierta.

Si se estuviese utilizando la vaporización forzada y se produjera una avería en el regulador número 5, que es el de uso habitual, el gas podría fluir a través del regulador 10, cerrando las llaves de paso 4, 6 y 8, y abriendo la llave número 7, teniendo así vaporización forzada.

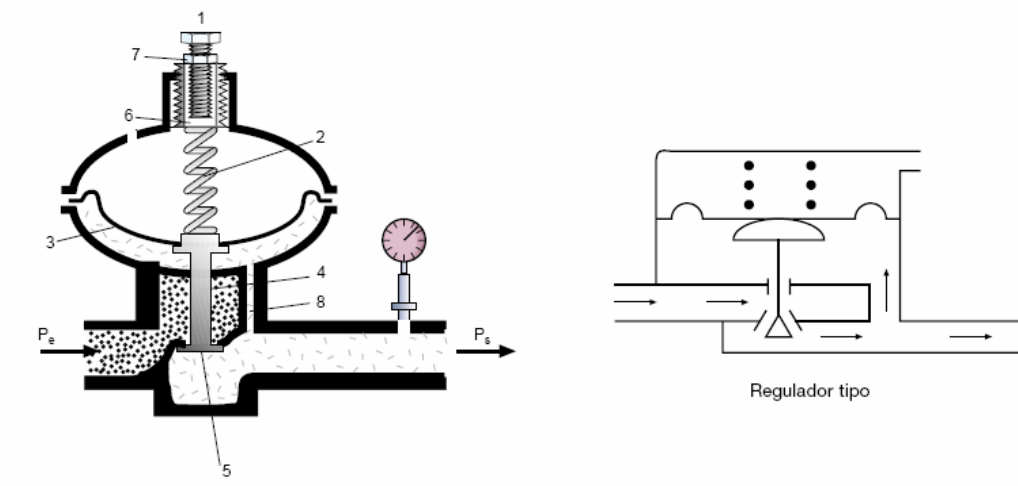


En serie con estos dos reguladores de presión, se sitúa un limitador o regulador de seguridad, el elemento número 12 de la Figura 6.19., tarado a una presión ligeramente superior a la de los reguladores principales pero inferior a la MOP. De este modo, el limitador no actúa durante el funcionamiento normal de la instalación, sino que solo lo hace en caso de fallo o avería de los reguladores situados aguas arriba, con el fin de asegurar la presión adecuada de salida a consumo.

### 6.5.1. Tipos de reguladores

Existen dos tipos de reguladores, los de acción directa y los de acción indirecta o pilotados.

En los reguladores de **acción directa**, la presión del gas a la salida es la que actúa directamente sobre el elemento sensible, diafragma, contrarrestando la acción de la presión atmosférica y la del muelle. La presión de salida puede ser fija o variable. En caso de falta de presión o cuando el diafragma se rompa, el regulador quedaría en posición abierta.

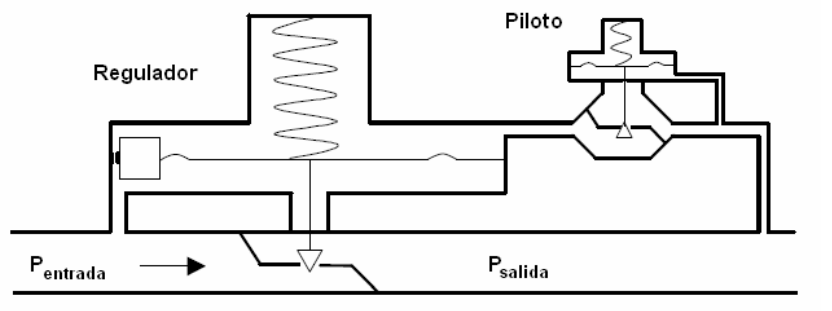


**Figura 6.20.** Regulador de acción directa

El diafragma (Item 3, Fig. 6.20) se encuentra en equilibrio. Por su parte superior soporta las fuerzas originadas por el muelle (Item 2, Fig. 6.20) y por la presión atmosférica, y por su parte inferior soporta la presión de salida del gas al estar en comunicación a través del orificio de toma de impulso (Item 8, Fig. 6.20). La presión del gas depende de la presión ejercida por el muelle que se puede ajustar accionando el vástago (Item 1, Fig. 6.20). Al comprimir el muelle, girando el vástago en el sentido de las agujas del reloj, aumenta su presión y al aflojarlo, disminuye. La presión ajustada se llama presión de tarado y se controla mediante un manómetro situado aguas abajo del regulador.



Los reguladores de **acción indirecta o pilotados** disponen de un segundo regulador llamado piloto que regula la presión del gas a un valor inferior y cuya acción sustituye al muelle y a la acción de la presión atmosférica. En caso de falta de presión o cuando la membrana se rompa, el regulador queda en posición cerrada, lo que supone una seguridad adicional. Este tipo de reguladores están indicados para coeficientes de caudal altos o aplicaciones que requieran un control preciso de la presión.



**Figura 6.21.** Regulador de acción indirecta o pilotado

### 6.5.2. Elección del equipo de regulación

Las características que definen a los reguladores son la presión de diseño o máxima que puede soportar su cuerpo, el rango de presión a que se puede ajustar la salida y el caudal máximo. Este caudal nominal ha de ser superior al máximo de la instalación para evitar posibles obstrucciones por enfriamiento de la humedad que pueda contener el depósito.

Se instalan 3 reguladores de acción directa, cuya capacidad mínima en función del caudal demandado, se indica según la Tabla 6.24 facilitada por el cliente.

Caudal demandado $Q$ [kg/h]	Capacidad regulador [kg/h]
$0 < Q \leq 250$	$1,50 \times Q$
$250 < Q \leq 500$	$1,50 \times Q$
$500 < Q \leq 750$	$1,45 \times Q$
$750 < Q \leq 1.000$	$1,40 \times Q$

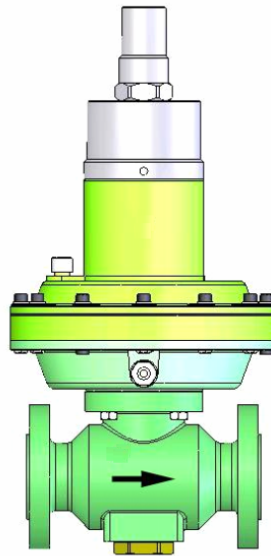
**Tabla 6.24.** Capacidad del regulador en función del caudal demandado



La capacidad de los reguladores es de 1,50 veces el caudal, y las presiones de tarado de cada uno de los reguladores presentes en la instalación son las siguientes:

- Regulador rampa vaporización natural: 1,75 bar
- Regulador rampa vaporización forzada: 1,85 bar
- Regulador limitador: 2 bar

Tras realizar un estudio de las cotizaciones recibidas de varios proveedores, se escogen reguladores de acero de la marca APQ, DN40 PN40 modelo Sutton 4000D5. Para evitar suciedades o daños en el cierre del regulador se monta un filtro para gas antes de ellos con un grado de filtraje de 5 micras.



**Figura 6.22.** Regulador APQ DN40 PN40 modelo Sutton 4000D5 [21]

## 6.6. Conducción de fase gaseosa tras la regulación

La canalización de fase gas que transporta el GLP desde la salida del equipo de regulación hasta la red de consumo es aérea, DN80, de 4.525 mm de longitud y está diseñada para soportar una presión interior de 5 bar relativos, aunque la máxima presión a la que se puede ver sometida la instalación de forma continuada en condiciones normales de operación (MOP) es de 2 bar de presión. Por este motivo, su construcción se realiza de acuerdo con lo indicado en la Norma 60.311.

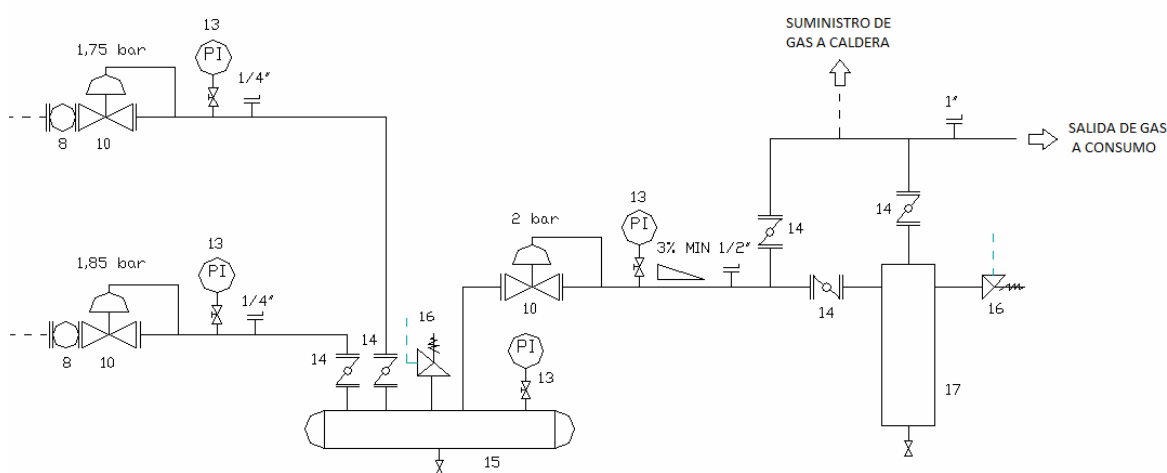


Según las especificaciones del cliente, la tubería es de acero al carbono DIN 2440 según UNE EN 10.208-2. Se escoge un acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10 para su fabricación y las soldaduras de este tramo están radiografiadas al 20% por personal cualificado, de acuerdo con la norma UNE-EN 12517-1.

Se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura, siendo ésta de color amarillo según la norma UNE 60.250 por tratarse de tuberías destinadas a la fase gas.

Según indicaciones del cliente al valorar positivamente el incremento de sección de la tubería a la salida de los reguladores, el diámetro pasa de ser DN40 a ser DN80 en el tramo que va desde el equipo de regulación hasta la llegada a la red de consumo. La finalidad de este aumento es la de no añadir una mayor pérdida de carga de la que ya presentan los reguladores.

Las rampas de vaporización natural y forzada procedentes del depósito y del vaporizador respectivamente, se unen tras el equipo de regulación en un colector con una única salida y común a ambas líneas. Este tramo de tubería dispone de 5 válvulas de corte (Fig.6.23, Pos.14), 2 válvulas de seguridad (Fig.6.23, Pos.16), 4 manómetros (Fig.6.23, Pos.13) y 1 decantador (Fig.6.23, Pos.17), con las conexiones de todos los elementos embridadas.



**Figura 6.23.** Conducción de fase gaseosa tras la regulación



### 6.6.1. Válvulas de corte

En este tramo se instalan un total de 5 válvulas de mariposa Xurox tipo Wafer, DN80 PN16, en acero inoxidable AISI 316, con las juntas en nitrilo y accionamiento mediante palanca. La marca de las válvulas se ha escogido tras realizar un estudio previo de las cotizaciones recibidas de varios proveedores, valorando la relación calidad-precio.

Estas válvulas están destinadas a abrir y cerrar el paso, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa denominada mariposa que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.

Una de las ventajas que tienen es que al ocupar un menor espacio debido a su geometría, facilitan su montaje en la instalación. Por este motivo, las válvulas de mariposa son especialmente atractivas con respecto a otro tipo de válvulas cuando se requiere que sean de gran tamaño.

Se sitúa una tras cada uno de los dos reguladores de presión (Fig.6.23, Pos.10), que junto con las válvulas de bola colocadas aguas arriba, permiten realizar su desmontaje en caso de necesidad. Las otras tres se encuentran rodeando el decantador, una antes de la tubería de entrada, otra en la de salida y la tercera en una derivación realizada con el fin de desviar la circulación de fase gaseosa de la instalación y no tener que parar el funcionamiento de la instalación, en el caso de tener que reparar o aislar temporalmente el decantador.



**Figura 6.24.** Válvula de mariposa tipo Wafer [22]



### 6.6.2. Válvulas de seguridad

Al igual que lo comentado anteriormente, en un tramo de tubería que queda aislado entre dos válvulas de corte se debe situar una válvula de seguridad de escape conducido tarada por encima de la presión de trabajo pero inferior a la presión de diseño. En este caso la presión de tarado es de 5 bares y se disponen de un total de dos válvulas en este tramo.

El cálculo del diámetro de la tubería de descarga se realiza con la ecuación (Eq. 6.6) de la norma NTP 346 “Válvulas de seguridad (II): capacidad de alivio y dimensionado” en el apartado dedicado al dimensionamiento para gases y vapores. [16]

Los cálculos y resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6.25 que se muestra a continuación.

Variable	Significado	Unidades	Valor
<b>Condiciones del fluido</b>			
$P_{\text{tara}}$	Presión de tarado	bar	5,00
$P_{\text{atm}}$	Presión atmosférica	bar	1,013
$P_{\text{abs}}$	Presión absoluta	bar	6,513
$T$	Temperatura	K	340
$M$	Peso molecular	g/mol	44
$T_c$	Temperatura crítica	K	369,99
$P_c$	Presión crítica	bar	42,65
$C_p$	Calor a presión constante	kJ/(kg·K)	1,679
$C_v$	Calor a volumen constante	kJ/(kg·K)	1,49
$w$	Coeficiente	-	0,153
<b>Cálculo del factor de compresibilidad Z</b>			
$T_r$	Temperatura reducida	-	0,919
$P_r$	Presión reducida	-	0,153
$Z^0$	Coeficiente tabla de Lee-Kesler	-	0,934
$Z^1$	Coeficiente tabla de Lee-Kesler	-	-0,024





<b>Z</b>	Factor de compresibilidad	-	0,931
<b>Cálculo del área de la válvula de seguridad</b>			
<b>Q</b>	Caudal de alivio	kg/h	500
<b>C</b>	Coeficiente de calores específicos	-	329,6
<b>K<sub>d</sub></b>	Coeficiente de descarga	-	0,86
<b>A</b>	Área de descarga de la válvula	mm <sup>2</sup>	95,56
<b>D</b>	Diámetro	mm	11,03

**Tabla 6.25.** Cálculo del área de la válvula de seguridad tramo GLP gas tarada a 5 bar

El diámetro de la tubería de descarga escogido es DN15, el mismo que para las válvulas de descarga del tramo que transporta GLP líquido desde el depósito al vaporizador.

En este tramo se disponen de un total de dos válvulas de seguridad Rego de escape conducido, modelo 3129G de bronce, con conexión roscada ½" NPT y taradas a 5 bares, presión a partir de la cual dichas válvulas empiezan a ventear para aliviar el exceso de presión en la canalización. Sus salidas de escape conducido desembocan en un colector de venteo común a las conducciones de las otras válvulas. Como se ha comentado anteriormente, se escoge la marca Rego debido a la relación comercial que mantiene la empresa con esta firma desde hace años.

### 6.6.3. Manómetros y válvulas de aguja

En este tramo se dispone de cuatro manómetros WIKA de 0 a 4 bar, de 63 mm de diámetro, con válvula de aguja portamanómetro para solucionar posibles fugas que se puedan producir en la instalación a través de ellos, y conexión roscada ¼" NPT, con la finalidad de verificar que la presión en la línea es la adecuada.

Uno de ellos se sitúa a la salida de cada uno de los reguladores de presión, otro tras la unión de las canalizaciones de la vaporización forzada y la natural y uno último tras el limitador de presión, el regulador de presión que se sitúa como medida de seguridad para garantizar que la presión que llega a la red de consumo es la adecuada.





**Figura 6.25.** Manómetro WIKA de 0-4 bar [23]

#### 6.6.4. Decantador

Debido a los mismos motivos comentados en el punto 6.4.4. acerca de los problemas que se pueden generar a causa de las altas temperaturas, es necesario prever la instalación de un depósito decantador entre la salida de la fase gaseosa del intercambiador de calor y la red de consumo, que recoja los condensados y residuos pesados. Es de acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10 y está dotado de una válvula de purga de ½" roscada NPT instalada en el punto más bajo del recipiente, que se conduce a un punto de vertido, un lugar seguro y exterior a la edificación alejado de las rejillas de ventilación, de los accesos a la sala de calderas y de cualquier red de saneamiento. La tubería que desemboca en el decantador está dotada de una pendiente de un 3% descendiendo hacia este elemento, con el fin de facilitar su recogida.

Según las especificaciones del cliente, el volumen de este decantador es de 105 litros, y respetando la altura máxima que tiene que tener todo el conjunto de dispositivos que integran los equipos de regulación, se fija una altura para este elemento de 1,5 metros. A partir de la ecuación (Eq. 6.9), se calcula el diámetro.

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h \quad (\text{Eq. 6.9})$$

Donde: V: Volumen del decantador [m<sup>3</sup>]

R: Radio del decantador [m]

h: Altura del decantador [m]

El radio es de 149,27 mm.

$$D = 2 \cdot R = 298,54 \text{ mm} = \text{DN300} = 12''$$



## 6.7. Circuito de suministro de gas a caldera

El equipo de vaporización-regulación dispone de un circuito a través del cual se proporciona GLP en fase gas para su consumo en la caldera, que proviene del conjunto de regulación con MOP inferior a 2 bar. Esta canalización es aérea, con un tramo de 200 mm de longitud DN15 y otro tramo de 3.060 mm de longitud de DN25, y está diseñada para una MOP inferior a 5 bar a fin de evitar la formación de condensados, por lo que su construcción se realiza de acuerdo con lo indicado en la Norma 60.311.

Para la fabricación de esta tubería se utiliza un acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10, se pinta de color amarillo tal y como indica la norma UNE 60.250 siendo una tubería destinada a la fase gas, se radiografían las soldaduras al 20% por personal cualificado, de acuerdo con la norma UNE-EN 12517-1, y se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura.

Este tramo de tubería dispone de 3 válvulas de corte (Fig.6.26, Pos.12), un regulador presión (Fig.6.26, Pos.11) y un manómetro (Fig.6.26, Pos.13).



**Figura 6.26.** Conducción de suministro de gas a caldera

### 6.7.1. Válvulas de corte

En este tramo se instalan un total de 3 válvulas de bola DN25 PN40 marca Kitz “iso” modelo F14D embridada de paso total y accionamiento mediante palanca, tipo Wafer fire-safe, con el cuerpo y la bola de acero inoxidable y el asiento de teflón. Su finalidad es poder aislar este tramo en caso de necesidad. Al igual que el resto de válvulas de corte seleccionadas anteriormente, la marca se ha escogido tras realizar un estudio previo de las cotizaciones recibidas de varios proveedores, valorando la relación calidad-precio.



### 6.7.2. Regulador de presión

Para que la comunicación entre el equipo vaporización-regulación y la caldera se realice de manera satisfactoria se sitúa un regulador de presión que forma parte del equipo de regulación descrito en el apartado 6.5., tarado a una presión inferior a la de los reguladores situados en las rampas de vaporización, a 1,5 bar. Dicho regulador se sitúa en la sala del vaporizador y no en la propia sala de calderas porque en el caso de que se produjese una sobrepresión en el sistema, la válvula de seguridad que incorpora ventearía gas a la atmósfera para aliviar la presión, y al hablar de una instalación de GLP, por motivos de seguridad y para reducir al máximo las probabilidades de que se produzca una explosión, no interesa que el gas esté expuesto al contacto con ningún foco caliente.

El regulador es de acción directa, de acero de la marca APQ, DN25 PN40. Para evitar suciedades o daños en el cierre del regulador se monta un filtro para gas antes de él con un grado de filtraje de 5 micras. Al igual que con los reguladores anteriores, este también dispone de un manómetro con válvula de aguja aguas abajo para controlar y verificar que la presión en la línea es la apropiada.

## 6.8. Colector de venteo

Un colector de venteo es un dispositivo auxiliar instalado sobre las tuberías y mediante el cual se puede realizar el purgado, limpieza, inertizado, u otras operaciones en un tramo de conducción.

En la instalación se dispone de un colector de venteo al que van a parar todos los venteos procedentes de los disparos de las válvulas de seguridad, para que ante una situación de emergencia el GLP contenido en la canalización pueda ser venteado y evite así un incremento de presión en su interior. Su descarga se prolonga hasta 4m de altura desde el suelo de la caseta en vertical y el gas evacuado va directamente a la atmósfera.

Es una tubería DN50 de acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10, de 2.400 mm de longitud, pintada de color amarillo tal y como indica la norma UNE 60.250 siendo una tubería destinada a la fase gas. Se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura.



## 6.9. Picajes

Los picajes son orificios que se realizan en las tuberías con la finalidad de poder disponer de tomas de instrumentación y poder colocar sensores con los que realizar las mediciones necesarias. Por petición expresa del cliente, se realizan los siguientes picajes:

- Picaje de ½" situado aguas abajo del equipo limitador para colocar un sensor de presión marca Wika modelo IS-10.

- Picaje de 1" situado en el primer tramo horizontal tras la salida del decantador de recogida de condensados para colocar un sensor de detección de líquidos marca Pepperl+Fuchs modelo Vibracon LVL10-G3OS-N.

- Dos picajes en alta presión de 1" con tapón macho situados en la interconexión entre la fase gaseosa de los depósitos y la fase gaseosa de la vaporización forzada.

## 6.10. Alumbrado interior de la caseta y de emergencia

Según especificaciones del cliente, se dota al equipo de una luminaria antideflagrante, homologada para ubicación en zona I, y de un sistema de alumbrado de emergencia que se activa ante caídas de tensión superiores al 70% y con una autonomía de 2 horas.

Tanto la iluminación del interior de la caseta como el alumbrado de emergencia tienen una intensidad de 100 lux.

## 6.11. Pica de tierra

La chispa que se produce durante una descarga de electricidad estática puede inflamar una mezcla de GLP con aire. Para evitar este riesgo se ha de evitar la acumulación de vapores y la generación de cargas electrostáticas o evitar su acumulación antes de que se produzcan descargas en forma de chispa, mediante la puesta a tierra de los equipos.

Para evitar la acumulación de cargas electrostáticas, todos los materiales y objetos están conectados a tierra y conectados equipotencialmente entre sí. La toma de tierra tiene una resistencia reducida para facilitar la descarga y proteger así la instalación.

Los depósitos, tuberías aéreas y equipos se conectan a una red de tierras equipotencial con resistencia de puesta a tierra menor de 80 ohm, y longitud mínima de la pica de tierra de 1 metro.



## 7. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CENTRAL TÉRMICA MODULAR

### 7.1. Caldera

#### 7.1.1. Introducción

Para calentar el fluido caloportador que se requiere para que el GLP cambie de fase de líquido a gas en el vaporizador es necesario disponer de un sistema de calefacción con caldera a gas, bomba de circulación y vaso de expansión y hacerlo llegar al vaporizador mediante una red de tuberías.

Por lo tanto, la caldera es el elemento en el que la energía de un combustible, GLP gas, se transforma en calor para el calentamiento del fluido caloportador, en este caso una solución anticongelante de agua-glicol etileno que posteriormente es dirigida al vaporizador.

#### 7.1.2. Tipos de calderas

Las calderas se pueden clasificar atendiendo a diferentes aspectos, ya sea según el material del que está formada, el tipo de combustible, la presión, el fluido caloportador o el diseño.

##### Clasificación por los materiales

**Calderas de fundición:** Están formadas por módulos de fundición gris acoplados entre sí mediante manguitos. Estas calderas son muy resistentes a la corrosión, son versátiles pues casi todos los modelos se pueden transformar para quemar cualquier tipo de combustible, y con los elementos desmontados se puede transportar a cualquier zona del edificio. La ventaja que presentan es que al estar construidas por módulos, se pueden reponer o ampliar la potencia incorporando nuevos elementos a la caldera.

**Calderas de acero:** Están fabricadas con chapas de acero que una vez soldadas conforman un conjunto monobloc del cuerpo de la caldera. La elasticidad y resistencia de los materiales empleados les permite realizar cualquier ciclo de trabajo habitual, a la vez que su menor peso respecto a las de hierro fundido representa una mayor comodidad de instalación y un coste menor a partir de ciertas potencias. Actualmente, y para eliminar la



desventaja que poseían con respecto a las de fundición, al no poder desmontarse por elementos, sobre todo a la hora de sustituir calderas en salas con accesos difíciles, se empiezan a construir por módulos de fácil manejo y transporte.

**Calderas murales:** Son calderas de diseño compacto y reducido, empleadas para instalaciones familiares de ACS y calefacción.

### **Clasificación en función del principio de diseño**

**Calderas acuotubulares:** son aquellas en las que el fluido caloportador circula por el interior de los tubos, estando inmersos estos en los gases o llamas producidas por la combustión. Están constituidas normalmente por un gran hogar o zona de radiación y según su diseño poseen uno o dos pasos para los gases, formados estos pasos por paneles de tubos y que, en ocasiones, son ocupados parcialmente por economizadores y recalentadores.

**Calderas pirotubulares:** En estas calderas los productos de la combustión circulan por el interior de los tubos que forman el haz de intercambio, estando rodeados por el fluido caloportador. Están constituidas por un hogar cilíndrico de tamaño suficiente para alojar la llama producida en la combustión del combustible y uno o dos pasos de tubos.

### **Clasificación por el tipo de combustible**

**Combustibles sólidos:** Las calderas para combustibles sólidos, ya sea leña o carbón, disponen de una puerta de carga en la parte superior por donde se introduce el combustible; una puerta cenicero en la parte inferior por la que se extraen las cenizas y una puerta reguladora de tiro, a través de la cual se introduce el aire para la combustión. Este tipo de calderas son engorrosas de operar por las cenizas y la suciedad que generan.

**Combustibles líquidos:** En estas calderas, el combustible debe ser previamente pulverizado o vaporizado para que reaccione con el aire.

**Combustibles gaseosos:** La combustión es más fácil de realizar, pero más peligrosa que en el caso de los combustibles líquidos.

### **Clasificación por la presión**

**Caldera atmosférica:** Toma el oxígeno necesario para producir la combustión desde el interior del recinto en el que se encuentra instalada y evacua los gases producidos sin



ninguna ayuda adicional. Los modelos más antiguos ocasionaban intoxicaciones por monóxido de carbono, pero los nuevos modelos llevan un dispositivo de seguridad que se acciona en caso de falta de tiro y bloquea el aparato, pues funcionan deficientemente en caso de que no exista buen tiro en la chimenea.

**Calderas de depresión:** Funcionan por la depresión que se crea en la chimenea o por un ventilador que aspira. De este modo se evita la salida de humos al local.

**Calderas de sobrepresión:** Los gases circulan empujados por un ventilador, por lo que circulan más rápido que en las calderas de depresión.

### **Clasificación por el fluido caloportador**

**Calderas de agua:** Necesitan bombas de alimentación para elevar la presión. Las fugas son muy peligrosas.

**Calderas de vapor:** Las fugas son muy peligrosas, los condensados necesitan ser purgados y se necesita un gran control de la calidad del agua.

**Calderas de aceite térmico:** Gracias a este fluido y al hecho de que su calentamiento no comporta un cambio de fase, estas calderas trabajan a presiones muy bajas pudiendo en cambio llegar a alcanzar temperaturas de servicio normales de 280 °C a 300 °C. Otra característica importante es que al no generar vapores, se evita la problemática derivada de trabajar con agua, como fugas, corrosiones, tratamientos y un continuo mantenimiento.

### **7.1.3. Elección de la caldera**

La caldera elegida es de baja temperatura, de fundición, con quemador atmosférico y está alimentada directamente por la fase gaseosa tras el conjunto de regulación con MOP inferior a 2 bar.

Las calderas de baja temperatura están construidas para trabajar con temperaturas de retorno bajas sin llegar a producir condensaciones. Esto lo logran con diseños especiales de los tubos de humos de modo que la temperatura en el lado de humos se mantiene por encima del punto de rocío aún con temperaturas de retorno de agua bajas.

El cálculo de la potencia útil de la caldera necesaria para que funcione conjuntamente con el vaporizador, se realiza con la ecuación (Eq. 7.1).





$$P_u = \frac{(Q_{\text{vap}} \cdot Q_{\text{LV}})}{\eta} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

Donde:

$P_u$ : Potencia útil de la caldera [kcal/h]

$Q_{\text{vap}}$ : Capacidad nominal del vaporizador que es de 500 kg/h

$Q_{\text{LV}}$ : Calor latente de vaporización del propano comercial que es de 94 kcal/kg

$\eta$ : Rendimiento de la instalación que se fija en un 80%

La potencia de la caldera necesaria es:

$$P_u = (500 \cdot 94) / 0,80 = 58.750 \text{ kcal/h}$$

Por lo tanto, la caldera escogida tiene una potencia nominal de 60.000 kcal/h.

Tras realizar un estudio previo de varias marcas de calderas y seleccionando aquella que presenta una mejor relación calidad-precio, se escoge una caldera modelo Pegasus F2 N 2S de baja temperatura con quemador atmosférico y de 85 kW de potencia nominal útil. Para evitar la elevación de la temperatura por encima de la de diseño la caldera está provista de un termostato ajustable y otro de protección que actúan sobre el funcionamiento del quemador, y de un conducto de evacuación en acero inoxidable de doble cuerpo para evacuar los gases producidos durante la combustión.

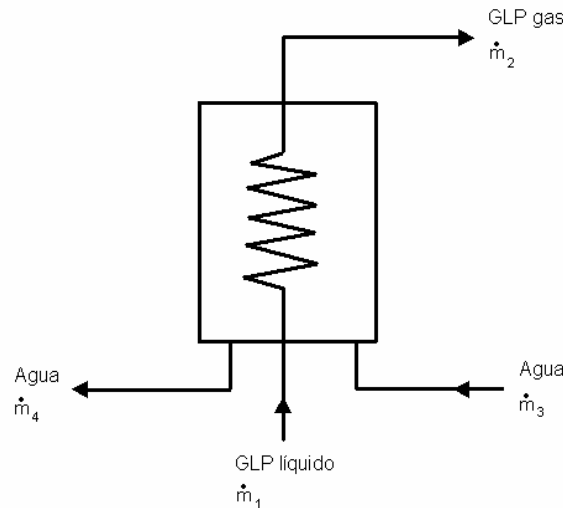


**Figura 7.1.** Caldera modelo Pegasus F2 N 2S [24]



## 7.2. Cálculo conducción suministro agua

Para el cálculo del diámetro de este tramo de tubería es necesario conocer el caudal de agua que pasa por ella y que será el necesario para que se pueda llevar a cabo el intercambio de calor en el vaporizador y se gasifique el caudal de GLP demandado. Para ello, se realiza un balance de materia y de energía en el intercambiador, tal y como muestra el esquema de la Figura 7.2.



**Figura 7.2.** Esquema intercambiador de calor GLP-agua

La expresión del balance de masa es la siguiente:

$$m_1 + m_3 = m_2 + m_4 \quad (\text{Eq. 7.2})$$

Al no producirse la mezcla de los dos fluidos, ya que cada uno de ellos circula por conductos distintos, se llega a la conclusión de que los caudales másicos de agua y de GLP a la entrada y la salida se mantienen constantes.

$$\begin{aligned} m_1 &= m_2 = m_{\text{GLP}} \\ m_3 &= m_4 = m_{\text{agua}} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.3})$$

La expresión del balance de energía es la siguiente:

$$\begin{aligned} m_{\text{GLP}} \cdot H_1 + m_{\text{agua}} \cdot H_3 &= m_{\text{GLP}} \cdot H_2 + m_{\text{agua}} \cdot H_4 \\ m_{\text{GLP}} \cdot (H_1 - H_2) &= m_{\text{agua}} \cdot (H_4 - H_3) \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7.4})$$



Las condiciones termodinámicas de los cuatro puntos se resumen en la Tabla 7.1. [19]

Punto	Fluido	Estado	P [bar]	T [K]	H [kJ/kg]
1	GLP <sup>(1)</sup>	Líquido	2,00	240,00	439,30
2	GLP <sup>(1)</sup>	Gaseoso	2,00	250,00	867,70
3	Agua <sup>(2)</sup>	Líquido	6,00	333,15	251,64
4	Agua <sup>(2)</sup>	Líquido	6,00	323,15	209,80

**Tabla 7.1.** Propiedades termodinámicas de los fluidos en el intercambiador de calor

Notas: <sup>(1)</sup> Se considera que es propano

<sup>(2)</sup> Se considera que es agua, sin tener en cuenta la proporción de anticongelante.

Considerando unas pérdidas en el intercambiador, se aplica un rendimiento del 80%.

$$\frac{500}{0,8} \cdot (439,30 - 867,70) = m_{\text{agua}} \cdot (209,80 - 251,64)$$

El caudal de agua necesario para el salto térmico demandado es de 6.400 kg/h.

El cálculo del diámetro de la tubería se realiza del mismo modo descrito en los apartados anteriores, sustituyendo los valores de la Tabla 7.2 en la ecuación (Eq.6.1).

Variable	Significado	Unidades	Valor
Q	Caudal tubería	kg/h	6.400,00
$\nu$	Volumen específico del agua a 6 bar y 363 K <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> /kg	0,0010362
v	Velocidad máxima admisible del agua en la tubería <sup>(2)</sup>	m/s	2,00
D <sub>i</sub>	Diámetro mínimo interior de la tubería	mm	34,245
DN	Diámetro nominal de la tubería	mm	<b>DN40</b>

**Tabla 7.2.** Cálculo diámetro tubería de agua

Notas: <sup>(1)</sup> La red está diseñada para la máxima temperatura de operación de 90 °C y una presión máxima de 6 bar.

<sup>(2)</sup> La velocidad del agua en el interior de una tubería no debe superar los 2 m/s a fin de evitar ruidos y vibraciones.



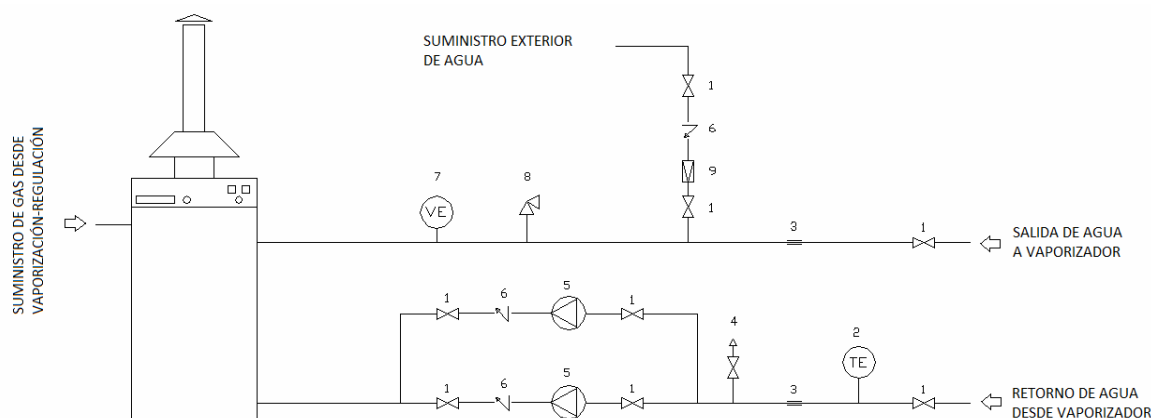
El valor del espesor de este tramo de tubería se escoge según lo indicado en la norma DIN 2440 que es la más restrictiva, siendo para un diámetro DN40 un espesor mínimo de 3,25 mm.

### 7.3. Conducción suministro agua

La conducción de suministro de agua comprende la canalización que transporta el fluido caloportador procedente de la salida del vaporizador a la entrada a la caldera y la canalización que lo transporta desde la caldera de vuelta al vaporizador, es aérea, DN40 y de una longitud de 6.470 mm de longitud. La red está diseñada para una temperatura máxima de operación de 90 °C y una presión máxima de 6 bar, y está fabricada de acero al carbono A 106-B.

Se instala un aislamiento constituido por una capa de lana mineral con un espesor mínimo de 30 mm hasta las líneas de 1¼" y de 40 mm para las líneas mayores. Para las líneas que discurren por el exterior del edificio se aumenta el aislamiento en 20 mm y se protege con una chapa de aluminio de 0,6 mm de espesor.

La línea de retorno de agua desde el vaporizador dispone de 2 bombas de recirculación (Fig.7.3, Pos.5), un termostato (Fig.7.3, Pos.2), una válvula de descarga (Fig.7.3, Pos.4), 3 válvulas antirretorno (Fig.7.3, Pos.6) y 8 válvulas de corte (Fig.7.3, Pos.1). La línea de salida de agua hacia el vaporizador está formada por un vaso de expansión (Fig.7.3, Pos.7), una válvula de seguridad (Fig.7.3, Pos.8) y un grupo de llenado de agua de la caldera (Fig.7.3, Pos.9).



**Figura 7.3.** Conducción de suministro de agua de la instalación caldera



### 7.3.1. Válvulas de corte

Este tramo de tubería dispone de 6 válvulas de mariposa marca Xurox tipo Wafer, DN40 PN16, en acero inoxidable AISI 316, con las juntas en nitrilo y accionadas mediante palanca. La marca de las válvulas se ha escogido tras realizar un estudio previo de las cotizaciones recibidas de varios proveedores, valorando la relación calidad-precio.

Una de ellas se sitúa en la llegada y otra en el retorno del fluido calefactor en contacto con el vaporizador, para poder aislar el sistema en caso de necesidad. También se instalan aguas arriba y debajo de cada una de las bombas para abrir y cerrar el paso mediante una placa denominada mariposa que gira sobre un eje, con la finalidad de que en el caso de que sea necesario, éstas se puedan desmontar con facilidad.



**Figura 7.4.** Válvula de mariposa tipo Wafer [22]

### 7.3.2. Termostato

En la línea de retorno a caldera se instala un termostato de protección que proporciona una señal para actuar sobre la electroválvula instalada en la llegada de GLP líquido al vaporizador, impidiendo la introducción de GLP en él si la temperatura del agua cae por debajo de 35 °C.



**Figura 7.5.** Termostato



### 7.3.3. Bombas de recirculación

Las bombas son máquinas hidráulicas que se utilizan para el desplazamiento de líquidos y que transfieren energía al fluido en forma de altura manométrica. Para la circulación del agua por la instalación se emplea una bomba centrífuga monofásica en línea, y otra de reserva en paralelo, que proporciona a una altura manométrica de 8 mca, el caudal de agua que necesita el vaporizador en condiciones nominales.

En las bombas centrífugas el incremento de altura manométrica se consigue al entrar el líquido en un rodete giratorio en el que se encuentran los álabes, por la variación del campo de velocidades en el rodete. Se pueden acoplar en un mismo cuerpo varios rodetes que trabajan en serie con lo que se consiguen incrementos importantes de altura manométrica sin que sea necesario someter la bomba a elevadas velocidades.



**Figura 7.6.** Bomba Wilo modelo TOP-S 40/10 [25]

Las bombas se conectan a la línea de impulsión de agua mediante bridas, sus motores están certificados para funcionar en atmósferas explosivas y no contienen elementos plásticos en sus mecanismos internos. Se escogen dos bombas Wilo modelo TOP-S 40/10 debido a la relación comercial que mantiene la empresa con dicha firma.

### 7.3.4. Válvulas antiretorno

En la salida de cada una de las bombas es necesario colocar una válvula antiretorno para impedir el paso del agua de una bomba a otra, aún cuando una de ellas esté en parada y la otra en funcionamiento. Se instalan dos válvulas de retención de disco wafer DN40 PN16 accionadas mediante muelle, de la marca Gestra RK-86A, con el cuerpo y el muelle en acero inoxidable. La marca se ha escogido tras realizar un estudio previo de las cotizaciones recibidas de varios proveedores, valorando la relación calidad-precio.





**Figura 7.7.** Válvula antiretorno Gestra RK-86A [26]

### 7.3.5. Vaso de expansión

Como cualquier líquido encerrado en una conducción y sometido a cambios bruscos de temperatura, el fluido caloportador sufre dilataciones y contracciones. Estos cambios pueden afectar a los diferentes accesorios instalados en el circuito hasta el punto de causar daños irreversibles. Para proteger de estos excesos de presión a los conductos y a los diferentes elementos que forman la instalación, se debe disponer de un accesorio capaz de absorber las diferencias de presión y de volumen que se producen en el interior del circuito, de un vaso de expansión.

El vaso de expansión está compuesto por un recipiente de una determinada capacidad dividido en dos partes separadas por una membrana flexible, una de las cuales está en comunicación con el circuito hidráulico. La otra parte del volumen total del recipiente está rellena de un gas capaz de contraerse ante el empuje de la presión ejercida por la membrana y actuar de amortiguador.

Una válvula de tarado pone límite a la presión que las dilataciones pueden llegar a ejercer sobre todos los componentes del circuito, abriéndose cuando se alcanza ésta presión. Cuando esto ocurre, el vaso de expansión queda inutilizado y el circuito completamente despresurizado.

Hay dos tipos de vasos de expansión, abiertos y cerrados.

El **vaso de expansión abierto** consiste en un recipiente que está abierto por la parte superior y permite el trasiego de fluido fuera del sistema. En el caso de expansión, el agua se elimina a través de un desagüe y en caso de contracción se llena el circuito con una acometida conectada a la válvula con boya que abre cuando baja el nivel del vaso.



El **vaso de expansión cerrado** consiste en un recipiente o depósito conectado a la tubería que alberga en su interior una membrana elastómera formando una cámara de aire. Al aumentar la presión, el agua comprime este aire y aumenta el volumen de agua en el vaso, aliviando de este modo el exceso de volumen en el circuito. Este tipo de vasos están destinados a instalaciones de calefacción con funcionamiento en circuito cerrado y permite absorber los aumentos de volumen producidos por la elevación de temperatura del fluido calefactor.

El cliente establece el volumen que ha de tener el vaso de expansión en función de la potencia de la caldera, tal y como indica la Tabla 7.3.

Potencia de la caldera	Capacidad del vaso de expansión
$\leq 120.000$ kcal/h	35 l
$> 120.000$ kcal/h	50 l

**Tabla 7.3.** Capacidad del vaso de expansión

En el caso que nos ocupa, el vaso de expansión es cerrado y se sitúa soldado en la línea de salida de agua hacia el vaporizador mediante una conexión de  $\frac{3}{4}$ ". Tiene un volumen útil de 35 litros, una presión máxima de servicio de 4 bar, una temperatura máxima de servicio de 90 °C y va certificado CE.



**Figura 7.8.** Vaso de expansión de 35 litros [27]

### 7.3.6. Válvula de seguridad

En la línea de salida de agua de la caldera hacia el vaporizador y tras el correspondiente vaso de expansión, se sitúa una válvula de seguridad del circuito de calefacción tarada a 1,8 bar con escape a la atmósfera para proteger la canalización de cualquier aumento excesivo de la presión o de la temperatura a la que pueda verse sometida con el fin de protegerla liberando dicho exceso.





### **7.3.7. Grupo de llenado de la caldera**

En la línea de salida de agua hacia el vaporizador y tras la válvula de seguridad se instala un grupo de llenado de agua para la caldera con la idea de que tras una evacuación de agua producida por un aumento excesivo de la presión o de la temperatura, el caudal de agua en la tubería y el necesario para el salto térmico demandado sea constante.

Se trata de una canalización aérea, DN15, de acero al carbono A 106-B, de 607 mm de longitud, pintada de color verde y protegida de los agentes externos mediante una pintura antioxidante.

Este tramo está formado por una válvula de retención para impedir que el paso del agua se produzca en dos direcciones, y dos válvulas de corte, una situada aguas arriba y otra aguas abajo de la válvula de retención, con la finalidad de aislar este tramo en caso de necesidad.

La válvula de retención es de disco wafer DN15 PN16 accionada mediante muelle, de la marca Gestra RK-86A, con el cuerpo y el muelle en acero inoxidable. Las válvulas de bola son DN15 PN70 marca Kitz “iso” modelo VU29 roscada BSP de paso total y accionamiento mediante palanca, con el cuerpo y la bola de acero inoxidable AISI 316L y el asiento de teflón. Las marcas escogidas para ambos elementos son las mismas que se eligieron previamente en otros apartados del proyecto por presentar la mejor relación calidad-precio.

## **7.4. Conducción suministro gas a caldera**

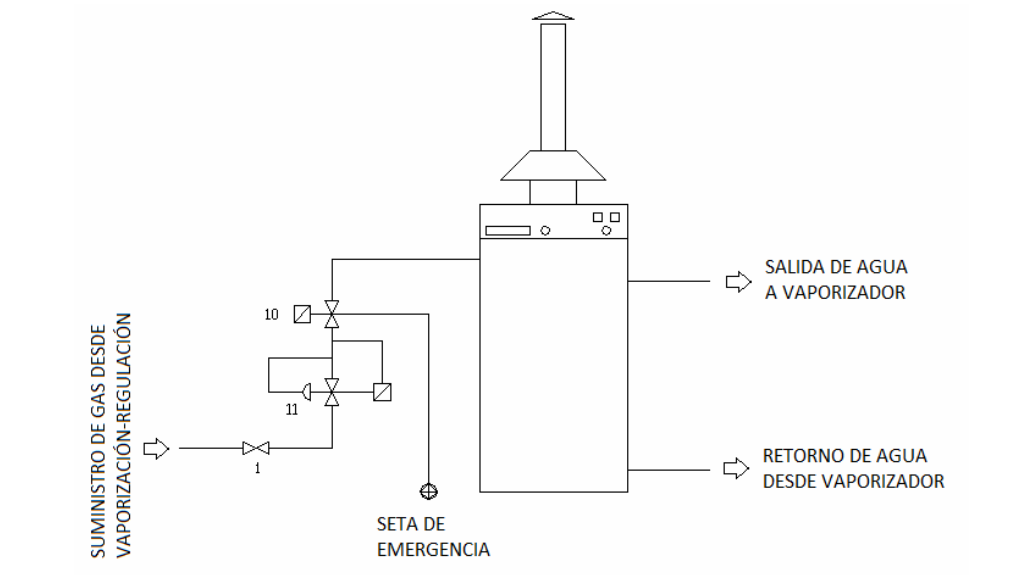
La caldera está alimentada con la fase gaseosa de GLP proveniente del conjunto de regulación con una máxima presión de operación inferior a 2 bar. Esta conducción comprende la canalización que transporta el GLP gas desde la salida de la caseta del vaporizador hasta su entrada a la caldera.

Para la fabricación de esta tubería se utiliza un acero al carbono A106-B según API 5L-ANSI B-36.10, se pinta de color amarillo tal y como indica la norma UNE 60.250 siendo una tubería destinada a la fase gas y se protege de los agentes externos mediante dos capas de pintura de minio y otras dos de pintura.

En la entrada de la fase gaseosa a la edificación de calderas se instala una electroválvula de corte normalmente cerrada (Fig.7.9, Pos.10) que interrumpe el suministro en caso de



alarma o detección de gas en la caseta de vaporizador o en la de calefacción. También dispone de un regulador de presión (Fig.7.9, Pos.11) para reducir la presión hasta 37 mbar con válvula de seguridad por mínima presión y una válvula de corte (Fig.7.9, Pos.1) para poder aislar el sistema en caso de necesidad.



**Figura 7.9.** Conducción de suministro de gas a caldera

## 7.5. Contador de gas

Tras el elemento de regulación se conecta un contador de gas. Sus características se eligen de acuerdo a la Tabla 7.4 suministrada por el cliente.

Capacidad vaporizador individual [kg/h]	Diámetro línea de alimentación tras regulación a caldera		Tamaño contador
	Acero [pulg.]	Cobre [mm]	
500	½"	13/15	G4
750	½"	13/15	G4 <sup>(1)</sup>
1.000	½"	16/18	G4 <sup>(1)</sup>

**Tabla 7.4.** Características del contador

<sup>(1)</sup> Para evitar la utilización de contadores mayores, para estas potencias se mide a una presión superior a la de utilización y se realiza una segunda regulación hasta la presión de las calderas. Los contadores serán aptos para trabajar a la presión que se elija para la realización de la medición.



## 8. ENVOLVENTE

Por envoltente se entiende la estructura o caseta que cubre y contiene todos los elementos que forman cada una de las instalaciones.

Según lo establecido en la Norma UNE 23727 están fabricadas de chapa galvanizada, un material ligero y anticorrosivo que presenta una protección contra el fuego de M0, es decir, es un material no combustible. Internamente disponen de un bastidor realizado sobre perfiles laminados de acero que actúa como estructura resistente y portante del conjunto. Están construidas sobre solera de hormigón H-150 recubierta con un pavimento de goma no absorbente para evitar que los choques y golpes que se puedan producir con objetos metálicos no provoquen chispas.

Las dimensiones exteriores de ambas casetas son de 2,4 m x 1,2 m de planta y 2,5 m de altura. Al tratarse de edificaciones cerradas, las puertas son metálicas de 1m de ancho y se abren siempre hacia el exterior para facilitar la salida del personal en caso de peligro y para poder realizar un fácil mantenimiento desde del exterior de los equipos que incluye.

Las cerraduras son de accionamiento rápido y manipulables desde el interior sin necesidad de utilizar llaves. Junto a una de las puertas de apertura de la caseta de la central térmica y en el marco de la misma, se incorpora una seta de emergencia con rearme manual que permite la interrupción del suministro de gas a la caldera en casos de emergencia. Y además, están dotadas de dos orificios de ventilación protegidos de dimensiones 80 cm x 35 cm, uno situado en la parte inferior y otro en la parte superior.

Según la norma UNE 60250 sobre Instalaciones de almacenamiento y suministro de GLP para su consumo en instalaciones receptoras, las casetas deben disponer de dos rejillas de ventilación con una superficie mínima del 10% de la superficie en planta de la caseta. Esta ventilación se realiza a través de orificios protegidos por mallas metálicas. Se sitúan dos rejillas, una en la parte inferior y otra en la superior de la caseta, de las siguientes dimensiones:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10} \cdot (2,4 \cdot 1,2) = 0,144 \text{ m}^2$$



Por lo tanto, se colocan dos rejillas de 50 cm x 35 cm, cuya superficie es más que suficiente teniendo en cuenta también las situadas en las puertas de acceso. Según el Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos, con el fin de evitar la formación de atmósferas explosivas por acumulación accidental de gas, el local donde está ubicada la estación de regulación posee de entrada y salida independientes de aire de ventilación, de forma que se logre el barrido de las posibles mezclas de gas-aire.

En cuanto a la protección contra incendios, la caseta del vaporizador dispone de un extintor de eficacia mínima 34A-183B-C, según lo establecido en la norma UNE 60250.



## 9. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica en los emplazamientos en los que se manipulan o almacenan sustancias inflamables, como es el caso de las instalaciones de almacenamiento de GLP está sometida a lo dispuesto en la ITC – BT 29 del Reglamento electrotécnico de baja tensión, Instalaciones en locales con riesgo de incendio o explosión, que consta de:

- Instalación eléctrica antideflagrante para el equipo de vaporización y regulación e iluminación en la caseta destinada a su ubicación.
- Instalación eléctrica e iluminación para la caseta de la caldera.
- Cuadro de acometida.

Una vez realizada la clasificación de zonas, teniendo en cuenta la probabilidad de formación de una atmósfera explosiva y conocido su tipo y extensión, se puede elegir el material adecuado, eléctrico o de otro tipo, que se puede utilizar en ellas. El material eléctrico se clasifica de acuerdo con la energía de inflamación de la sustancia presente, su temperatura de auto ignición y el modo de protección aplicado en su construcción con lo cual es posible determinar su idoneidad para una zona determinada.

Para el GLP la clasificación de la sustancia es el IIA y la temperatura de auto ignición es T2. Los modos de protección usuales son el denominado antideflagrante para motores e interruptores, el de seguridad aumentada para equipos de iluminación y el de seguridad intrínseca para instrumentación electrónica. Los equipos van marcados con el tipo de protección para el que están clasificados. Una marca típica de un equipo para GLP es EEX d II A T2 o II G (1, 2, 3). Cualquier material que se instale en esas zonas debe disponer del certificado que garantice que su utilización es segura.

La instalación también dispone del denominado certificado de explosiones que es una evaluación de los riesgos para los trabajadores que tengan que realizar trabajos en las mismas. Los interruptores generales de los circuitos de alimentación de bombas, compresores, motores y alumbrado de toda la instalación están centralizados en un cuadro situado en un lugar de fácil acceso. Además, todos los circuitos de fuerza disponen de dispositivos de corte por intensidad de defecto mediante interruptores diferenciales con sensibilidad máxima de 30 mA.



## CONCLUSIONES

En el presente proyecto, tal y como marcaban los objetivos, se ha diseñado una instalación de GLP para autoabastecimiento de gas, de dimensiones limitadas para poder incluirla en unas estructuras autoportantes tipo skid.

Se ha realizado el diseño íntegro de la instalación además de la selección y situación de todos los elementos que forman parte de ella. Se han dimensionado las conducciones respetando las especificaciones iniciales aportadas por el cliente en todo momento. También se ha empleado tiempo estudiado las cotizaciones recibidas por diversos proveedores, de todos los elementos descritos a lo largo del proyecto.

La utilización de software de dibujo asistido por ordenador, CATIA V5, ha permitido comprobar de manera sencilla si la localización y distribución de cada uno de los elementos que componen la instalación era la correcta y si su posterior fabricación era factible.

Finalmente, respecto a su viabilidad económica, se ha intentado minimizar en todo lo posible los costes del proyecto, aunque no ha sido el baremo principal en algunas ocasiones.

Como resultado, todo ello ha representado un aprendizaje enriquecedor, no solo en el ámbito de la ingeniería, también en lo que se refiere al ámbito personal.



## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido posible gracias a la colaboración de diversas personas, las cuales me han ayudado, guiado y facilitado información sin la cual la realización de este trabajo no hubiera sido posible.

Por ello quisiera agradecer a Óscar Aísa, director comercial de Marlia Ingenieros, S.L. por la ayuda prestada durante estos nueve meses, así como a Silvia Roiz y Eduardo Martos, por su disposición y colaboración en todo momento. Y a Esteve Jou por el soporte académico recibido.

También, gracias por el apoyo incondicional de familia y amigos.

Y a ti, por estar ahí en todo momento.



# BIBLIOGRAFÍA

## Referencias bibliográficas

- [1] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE OPERADORES DE GASES LICUADOS DEL PETRÓLEO. *Usos gas licuado*.  
[[www.aoglp.com](http://www.aoglp.com), 14 de febrero de 2011]
- [2] REPSOL. *Propiedades del GLP*.  
[[www.repsol.com](http://www.repsol.com), 17 de febrero de 2011]
- [3] BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL. *Densidad relativa del propano*.  
[[http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd46/LSI\\_Cap15.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd46/LSI_Cap15.pdf), 17 de febrero de 2011]
- [4] CEPSA ELF GAS, *Manual de instalaciones de GLP*. 2001, p. 109.
- [5] BOE, BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. *Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes*.  
[[http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases\\_datos/act.php?id=BOE-A-2006-2779&p=20100904&tn=1](http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/act.php?id=BOE-A-2006-2779&p=20100904&tn=1), 31 de enero de 2006]
- [6] FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL. Instrucciones técnicas complementarias del reglamento electrotécnico de baja tensión. *ITC-BT-29. Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión*.  
[[http://www.ffii.es/puntoinformcyt/Archivos/rbt/ITC\\_BT\\_29.pdf](http://www.ffii.es/puntoinformcyt/Archivos/rbt/ITC_BT_29.pdf), 15 de marzo de 2011].





## Bibliografía complementaria

- [7] LAPESA, S.A. *Tablas de vaporización natural para depósitos de GLP*.  
[<http://www.lapesa.es/pdfs/glpe2223.pdf>, 20 de marzo de 2011].
- [8] SAIDI. *Catálogo de válvulas de bola ISO*, p. 12.
- [9] SPIRAX SARCO. Proveedor de filtros, filtro en Y Fig.34.  
[<http://www.spiraxsarco.com/ar/pdfs/TI/p064-02.pdf>, 6 de junio de 2011]
- [10] AENOR, Recopilación de normas UNE. Distribución y utilización de combustibles gaseosos. AENOR Ediciones, octubre 2006.
- [11] LPG EXCEPTIONAL ENERGY.  
[[www.exceptionalenergy.com](http://www.exceptionalenergy.com), 21 de marzo de 2011]
- [12] WORLD LP GAS ASSOCIATION  
[[www.worldlpgas.com](http://www.worldlpgas.com), 21 de marzo de 2011]
- [13] PROPANE EDUCATION & RESEARCH COUNCIL  
[[www.propanecouncil.org](http://www.propanecouncil.org), 21 de marzo de 2011]
- [14] PALAZZOLI. Sistemas ATEX para atmósferas potencialmente explosivas.  
[<http://www.construnario.com/diccionario/swf/27520/material%20de%20instalaci%C3%B3n/palazzoli/atex.pdf>, 25 de marzo de 2011]
- [15] TLV. *Tipos de válvulas y sus aplicaciones*.  
[<http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-valves.html>, 3 de mayo de 2011]
- [16] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Notas técnicas de prevención, NTP. *NTP 346: "Válvulas de seguridad (II): capacidad de alivio y dimensionado"*. 2010.
- [17] REGO PRODUCTS. *LP-Gas & anhydrous ammonia equipment. Pressure relief valves and relief valves manifolds*. Catálogo de productos REGO, p. D16.
- [18] ASCO VALVE.  
[[www.ascovalve.com](http://www.ascovalve.com), 6 de junio de 2011]
- [19] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. *Taules i gràfiques de propietats termodinàmiques*. Barcelona: ETSEIB-CPDA, 2002.



- [20] WIKA. *Pressure and temperature measuring instruments for hazardous areas*. Catálogo de manómetros, p. 12.
- [21] APQ. *Regulador Sutton 4000D5*. Documentación proporcionada por el proveedor.
- [22] XUROX. *Válvulas de mariposa*. Catálogo de productos de 2010. Documentación proporcionada por el proveedor.
- [23] WIKA. *Pressure and temperature measuring instruments for hazardous areas*. Catálogo de manómetros, p. 13.
- [24] FERROLI. *Pegasus F2 N 2S, caldera de hierro fundido a gas para calefacción con encendido y control de llama electrónicos*. Documentación proporcionada por el proveedor.
- [25] WILO IBÉRICA, S.A.  
[www.wilo.es, 28 de junio de 2011 ]
- [26] GESTRA. *Disco non-return valves RK, PN6 to PN40*. Documentación de válvulas antiretorno proporcionada por el proveedor.
- [27] CALEFFI, S.P.A. *Expansion vessels*. Documentación de vasos de expansión proporcionada por el proveedor.



## ANEXO A: Presupuesto

La valoración económica del proyecto se ha realizado teniendo en cuenta el coste del estudio previo, del diseño de la instalación, del material y programas utilizados y del coste de todos los elementos necesarios para fabricar la instalación.

### A.1. Presupuesto de trabajo

El presupuesto de trabajo se cuantifica en base a las horas destinadas al estudio y elaboración del proyecto y se divide de la siguiente manera:

- Horas de estudio: 1 mes destinado a la búsqueda de información relativa a la normativa de las instalaciones de GLP.
- Horas de cálculos y selección de componentes: 3 meses destinados a la realización de cálculos, contacto con proveedores y selección de los componentes que forman la instalación.
- Horas de diseño: 3 meses empleados en diseñar la instalación y distribución de los elementos en ella, mediante Autocad y Catia V5.
- Horas de redacción: 2 meses empleados en la redacción de este proyecto.

Concepto	Precio horario [€/h]	Horas [h]	Coste [€]
Estudio	40	90	3.600,00
Cálculos	40	270	10.800,00
Diseño	40	270	10.800,00
Redacción	40	180	7.200,00
<b>Total [€]</b>			<b>32.400,00</b>

Tabla A.1. Presupuesto de trabajo



## A.2. Presupuesto de equipos y software

Durante el tiempo de realización del presente proyecto (9 meses) se ha utilizado un ordenador portátil y dos softwares para la parte del diseño, AUTOCAD y CATIA V5.

Se considera un tiempo de amortización de 4 años, por lo que en el presupuesto desglosado de la Tabla A.2 tan solo se tiene en cuenta la parte proporcional al tiempo de utilización de este material en el proyecto.

Concepto	Precio unitario [€]	Unidades	Amortización [€]
Portátil ASUS	779,00	1	146,00
Autocad	1.500,00	1	281,25
Catia V5	2.000,00	1	375,00
<b>Total [€]</b>			<b>802,25</b>

**Tabla A.2.** Presupuesto de equipos y software

## A.3. Presupuesto de fabricación

El coste de la instalación se detalla en la Tabla A.3, indicando el precio de mercado de todos y cada uno de los elementos que la forman.

Pos.	Unidad	Descripción	Precio unit. [€]	Precio TOTAL [€]
<b>Conducción de fase líquida (sala vaporización-regulación)</b>				
1	4	Válvula de bola Kitz "iso" tipo Wafer, fire-safe, DN32 PN40 modelo F14D embridada de paso total y con palanca. Cuerpo y bola en acero inoxidable, asiento de teflón.	121,48	485,92



2	1	Filtro en "Y" Spirax Sarco DN32 PN40 Fig.34. Con bridas, cuerpo de acero al carbono y tamiz de acero inoxidable con perforaciones de 0,8mm.	138,80	138,80
3	3	Válvula de seguridad marca Rego de bronce tarada a 20bar, con conexión roscada ½" NPT, modelo 3129G.	9,00	27,00
4	1	Electroválvula ASCO DN25 PN40 con protección antideflagrante EExd, para el grupo IIB, clase de temperatura T4, índice de protección IP55, prensaestopas antideflagrantes y alimentación eléctrica 220 VAC.	855,00	855,00
5	1	Tubo de 1 ¼" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 1.935mm de longitud.	1,88	3,76
6	3	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de 1 ¼".	1,08	3,24
7	10	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 1 ¼" 300Lbs.	5,43	54,30
8	2	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 1" 300Lbs.	4,87	9,74
<b>Vaporizador (sala vaporización-regulación)</b>				
9	1	Vaporizador WA-O CE 500kg/h de SAMTECH	2.240,00	2.240,00
<b>Conducción de fase gaseosa previa a la regulación (sala vaporización-regulación)</b>				
10	4	Válvula de bola Kitz "iso" tipo Wafer, fire-safe, DN40 PN40 modelo F14D embrizada de paso total y con palanca. Cuerpo y bola en acero inoxidable, asiento de teflón.	158,84	635,36



11	2	Válvula de seguridad marca Rego, tarada a 20bar, conexión roscada ½" NPT, modelo 3129G de bronce.	9,00	18,00
12	2	Manómetro WIKA de 63mm de diámetro, de 0-25bar, con válvula de aguja DN ¼".	11,00	22,00
13	2	Calderín de condensados de 5l. Tubo de 3" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 800mm de longitud la unidad.	12,68	25,36
14	2	Válvula de purga de ¼" roscada NPT, en acero inoxidable.	46,67	93,34
15	6	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 1 ½" 300Lbs.	7,20	43,20
16	2	Picaje de 1".	5,00	10,00
17	1	Tubo de 1 ½" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 2.210mm de longitud.	5,41	16,23
<b>Equipo de regulación (sala vaporización-regulación)</b>				
18	1	Regulador de presión APQ Sutton 40AP DN40 PN25 tarado a 1,85bar.	600,00	600,00
19	1	Regulador de presión APQ Sutton 40AP DN40 PN25 tarado a 1,75bar.	600,00	600,00
20	1	Regulador de presión APQ Sutton 40AP DN40 PN25 tarado a 2bar.	600,00	600,00



<b>Conducción de fase gaseosa tras la regulación (sala vaporización-regulación)</b>				
21	5	Válvula de mariposa Xurox tipo Wafer, DN80 PN16, en acero inoxidable AISI 316, con las juntas en nitrilo y accionamiento por palanca.	60,95	304,75
22	2	Válvula de seguridad marca Rego tarada a 5bar, conexión roscada ½" NPT, modelo 3129G de bronce.	9,00	18,00
23	4	Manómetro WIKA de 63mm de diámetro, de 0-4bar con válvula de aguja DN ¼"	11,00	44,00
24	1	Calderín de condensados de 8l. Tubo de 4" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B y 1.000mm de longitud.	16,88	16,88
25	1	Válvula de purga de ¼" roscada NPT, en acero inoxidable.	46,67	46,67
26	1	Decantador de 105l.	1.000,00	1.000,00
27	1	Válvula de purga de ½" roscada NPT, en acero inoxidable.	57,00	57,00
28	1	Tubo de 3" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B y 4.525mm de longitud.	12,68	63,40
29	4	Reducción de tubería 3" x 1 ½" de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB.	6,20	24,80
30	1	Picaje de ½".	5,00	5,00
31	1	Picaje de 1".	5,00	5,00
32	4	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de 3".	8,18	32,72



33	11	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 3" 150Lbs.	9,68	106,48
34	4	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.9 A-105, 1 ½" 150Lbs.	5,19	20,76
<b>Conducción de fase gas suministro a caldera (sala vaporización-regulación)</b>				
35	1	Regulador de presión DN25 PN40 tarado a 1,5bar.	600,00	600,00
36	1	Manómetro WIKA de 63mm de diámetro, de 0-4bar, con válvula de aguja DN ¼".	11,00	11,00
37	3	Válvula de bola Kitz "iso" tipo Wafer, fire-safe, DN25 PN40 modelo F14D embridada de paso total y con palanca. Cuerpo y bola en acero inoxidable, asiento de teflón.	96,23	288,69
38	1	Tubo de ½" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 200mm de longitud.	1,88	1,88
39	1	Tubo de 1" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 3.060mm de longitud.	3,27	13,08
40	1	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de ½".	0,75	0,75
41	3	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de 1".	1,24	3,72
42	7	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 1" 150Lbs.	3,70	25,90
<b>Otros (sala vaporización-regulación)</b>				
43	1	Tubo de 2" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 2.400mm de longitud.	7,68	23,04





44	1	Tubo de ½" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 6.680mm de longitud.	1,88	13,16
45	1	Luz	200,00	200,00
<b>Caldera (sala caldera)</b>				
46	1	Caldera Pegasus modelo F2 N 2S, de baja temperatura, con quemador atmosférico y de 85KW de potencia nominal útil.	1.768,00	1.768,00
<b>Conducción de fase gas (sala caldera)</b>				
47	1	Regulador de presión de seguridad más válvula de seguridad.	600,00	600,00
48	1	Electroválvula de corte automática de solenoide (NC) Nadi L67 cabezal EExd 230Vac, DN25.	170,00	170,00
49	1	Válvula de bola Kitz "iso" tipo Wafer, fire-safe, DN25 PN40 modelo F14D embridada de paso total y con palanca. Cuerpo y bola en acero inoxidable, asiento de teflón.	96,23	96,23
50	1	Tubo de 1" de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 2.200mm de longitud.	3,27	9,81
51	3	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de 1".	1,24	3,72
52	1	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 1" 150Lbs.	3,70	3,70



<b>Conducción de agua caldera (sala caldera)</b>				
53	6	Válvula de mariposa Xurox tipo Wafer, DN40 PN16, en acero inoxidable AISI 316, con las juntas en nitrilo y accionamiento por palanca.	48,50	291,00
54	2	Bomba Wilo modelo TOP-S 40/10 embridada DN40 PN10.	903,00	1.806,00
55	2	Válvula de retención de disco wafer accionada mediante muelle marca Gestra RK-86A, DN40 PN16. Cuerpo y muelle en acero inoxidable.	77,40	154,80
56	1	Vaso de expansión DN $\frac{3}{4}$ " de 35 litros.	82,00	82,00
57	1	Válvula de seguridad tarada a 2bar, conexión de $\frac{1}{2}$ " M.F.	9,00	9,00
58	1	Termostato	54,00	54,00
59	2	Válvula de bola DN15 PN70 marca Kitz "iso" modelo VU29 roscada BSP de paso total y accionamiento mediante palanca. Cuerpo y bola de acero inoxidable AISI 316L y asiento de teflón.	27,90	55,80
60	1	Válvula de retención de disco wafer accionada mediante muelle marca Gestra RK-86A, DN15 PN16. Cuerpo y muelle en acero inoxidable.	36,80	36,80
61	1	Tubo de 1 $\frac{1}{2}$ " de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 6.470mm de longitud.	5,41	37,87
62	1	Tubo de $\frac{1}{2}$ " de acero al carbono s/API 5L-ANSI B-36.10 A-106-B de 670mm de longitud.	1,88	1,88
63	4	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de 1 $\frac{1}{2}$ ".	1,87	7,48



64	1	Codo de acero al carbono s/ANSI B-16.9 A-234 WPB 90° RL para tubería de ½".	3,70	3,70
65	10	Brida con cuello para soldar de acero forjado s/ANSI B-16.5 A-105, 1 ½" 150Lbs.	5,19	51,90
<b>Otros</b>				
66	1	Contador de gas	75,00	75,00
67	1	Cuadro eléctrico 1.000x600x260mm	450,00	450,00
68	2	Envolverte de 2.400x1.200x2.500mm.	1.100,00	2.200,00
69	1	Soldadura radiografiada. (Precio horario, para un total de 5 horas de trabajos)	90,00	450,00
<b>Total [€]</b>			<b>17.826,62</b>	

Tabla A.3. Coste de fabricación

## A.4. Presupuesto final

La Tabla A.4 muestra el total de los costes teniendo en cuenta el IVA (18%).

Partida	Precio sin IVA [€]	Precio con IVA [€]
Elaboración proyecto	32.400,00	38.232,00
Equipos y software	802,25	946,66
Fabricación	17.826,62	21.035,41
<b>TOTAL [€]</b>	<b>51.028,87</b>	<b>60.214,07</b>

Tabla A.4. Presupuesto total



## ANEXO B: Impacto medioambiental

El impacto medioambiental de la estación de GLP es mínimo, sin afecciones en su explotación sobre el suelo. Se identifican a continuación sus posibles impactos, cuantificándose su importancia.

En relación a los residuos sólidos y líquidos, durante la construcción de la planta se retirarán convenientemente a un vertedero todos los escombros y materiales generados. Los aceites usados de los equipos serán siempre enviados a un gestor de aceites autorizado, y durante la operación de la planta los únicos residuos generados producto de las operaciones de mantenimiento como embalajes, cartón o plásticos, se reciclarán debidamente.

En cuanto a los productos de combustión, la estación contiene una caldera para la vaporización del GLP que utiliza como combustible la fase gaseosa de GLP y que evacua dichos productos de la combustión a través de una chimenea individual. La reacción de combustión del propano origina la formación de dióxido de carbono, agua y pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, que pese a existir, son menores que las producidas con la utilización de otros combustibles líquidos. El GLP emite alrededor de un 20% menos de CO<sub>2</sub> que el fueloil de calefacción y un 50% menos que el carbón. Además, también ayuda a reducir las emisiones de hollín que suponen la segunda contribución en importancia al calentamiento global y que, además, son causa de problemas de salud graves [11].

Y por último, en el aspecto de la contaminación acústica, los niveles de ruido que se pueden alcanzar en la planta son producto de la operación de los reguladores, la bomba y la caldera, y siempre se mantendrán por debajo de los valores exigidos por el organismo territorial competente.



## ANEXO C: Especificaciones del propano comercial

En España, la composición de los GLP se especifica en el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, publicado en el Boletín Oficial del Estado. En la Tabla C.1 se muestran las especificaciones para el propano comercial. [5]

Característica	Unidad de medida	Límite	
		Mínimo	Máximo
Densidad a 15 °C	kg/l	0,502	0,535
Humedad	-	Exento	
Contenido máximo de azufre	mg/kg	-	50
Corrosión	Escala	-	1 b.
Presión de vapor manométrica a 37,8°C	kg/cm <sup>2</sup>	10	16
Sulfuro de hidrógeno	-	Negativo	
Poder calorífico inferior	kcal/kg	10.800	
Poder calorífico superior	kcal/kg	11.900	
Composición:			
Hidrocarburos C <sub>2</sub>	% Volumen	-	2,5
Hidrocarburos C <sub>3</sub>	% Volumen	80	
Hidrocarburos C <sub>4</sub>	% Volumen	-	20
Hidrocarburos C <sub>5</sub>	% Volumen	-	1,5
Olefinas totales	% Volumen	-	35
Diolefinas + Acetilenos	p.p.m.	< 1.000	
Olor	-	Característico	

**Tabla C.1.** Especificaciones del propano comercial



## ANEXO D: Comprobación de los diámetros de las tuberías para utilizar con GLP

Para comprobar si los diámetros calculados en el apartado 6.2. *Cálculo de conducciones* de la memoria se pueden considerar aceptables, se deben tener en cuenta las pérdidas de carga de las canalizaciones y la velocidad del gas en su interior, del siguiente modo.

La presión relativa de emisión es de 1,75 bar y la presión relativa mínima en el conjunto de la red debe ser superior a 1,30 bar en las acometidas más desfavorables. Esto se comprueba por medio de la fórmula simplificada de Renouard para medias presiones, UNE 62620.

$$P_1^2 - P_2^2 = 48,6 \cdot d_c \cdot L_{eq} \cdot \frac{Q^{1,82}}{D_i^{4,82}} \quad (\text{Eq. D.1})$$

Donde:

$P_1$ : Presión absoluta en el origen del tramo [bar]

$P_2$ : Presión absoluta en el final del tramo [bar]

$d_c$ : Densidad corregida de valor 1,16 para el propano

$L_{eq}$ : Longitud de cálculo equivalente, que es 1,2 veces la longitud de la conducción [m] debido a que el gas que circula por la conducción encuentra a su paso elementos puntuales como codos, tes o reguladores, que hacen que las pérdidas de carga sean mayores de las que corresponderían sin esos elementos.

$Q$ : Caudal [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$D_i$ : Diámetro interior de la conducción [mm]

Para aplicar la expresión anterior se han de cumplir las dos condiciones que se detallan a continuación:

1. La relación entre el caudal en condiciones estándar y el diámetro interior de la tubería es inferior a 150.

$$\frac{Q}{D_i} < 150$$



2. El número de Reynolds, Re, es inferior a 2.000.000, siendo Re:

$$Re = T \cdot \frac{Q}{D_i} \quad (\text{Eq. D.2})$$

Donde T es un factor que depende de la familia a la que pertenezca el gas, tomando como valor 16.000, 22.300 ó 72.000, según sea de la primera, segunda o tercera familia, respectivamente. En este caso T toma el valor de 72.000 al tratarse de un gas de la tercera familia.

Por otro lado, también se tiene que comprobar que la velocidad del gas en la tubería no sea en ningún caso superior a 20 m/s. Esto se calcula mediante la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que la relación entre el caudal expresado en m<sup>3</sup>/h, y el diámetro interior expresado en milímetros, sea menor o igual de 150.

$$v = 374 \cdot \frac{Q}{P \cdot D_i^2} \quad (\text{Eq. D.3})$$

Donde:

v: Velocidad en el interior de la tubería [m/s]

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/h]

P: Presión absoluta de la conducción [bar]

D<sub>i</sub>: Diámetro interior de la conducción [mm]

Realizada la comprobación según dichos criterios resulta que la presión relativa en el punto más desfavorable de la red de distribución es superior a la citada de 1,30 bar y la velocidad inferior a la citada de 20 m/s.

Se adjunta a continuación el listado de cálculos en el que figuran longitudes, presiones, velocidad y diámetros de cada uno de los tramos.



Tramo	$D_i$ [mm]	L [m]	$L_{eq}$ [m]	$P_1$ [bar]	$P_1^2 - P_2^2$ [bar]	$P_2$ [bar]	$P_{media}$ [bar]	$Q/D_i$	Re	v [m/s]
1	40	0,200	0,240	12,5000	0,0068	12,4997	12,4999	6,715	483507,00	5,023
2	80	0,800	0,960	12,4997	0,0010	12,4997	12,4997	3,358	241753,50	1,256
3	40	0,350	0,420	12,4997	0,0118	12,4992	12,4995	6,715	483507,00	5,023
4	40	1,050	1,260	12,5000	0,0355	12,4986	12,4993	6,715	483507,00	5,023
5	80	0,800	0,960	12,4986	0,0010	12,4985	12,4986	3,358	241753,50	1,256
6	40	0,350	0,420	12,4985	0,0118	12,4981	12,4983	6,715	483507,00	5,024
7	80	0,650	0,780	1,8500	0,0008	1,8498	1,8499	3,358	241753,50	8,485
8	80	0,650	0,780	1,7500	0,0008	1,7498	1,7499	3,358	241753,50	8,970
9	100	1,000	1,200	1,7998	0,0004	1,7997	1,7997	2,686	193402,80	5,582
10	80	0,975	1,170	1,7997	0,0012	1,7993	1,7995	3,358	241753,50	8,723
11	80	0,220	0,264	1,7993	0,0003	1,7993	1,7993	3,358	241753,50	8,724
12	300	1,500	1,800	1,7993	0,0000	1,7993	1,7993	0,895	64467,60	0,620
13	80	1,170	1,404	1,7993	0,0014	1,7990	1,7992	3,358	241753,50	8,725
14	80	0,180	0,216	1,7993	0,0002	1,7992	1,7992	3,358	241753,50	8,724
15	80	0,680	0,816	1,7991	0,0008	1,7989	1,7990	3,358	241753,50	8,726

**Tabla D.1.** Comprobación de los diámetros de las tuberías para el uso de GLP





## ANEXO E

### E.1. Esquema de la central de vaporización

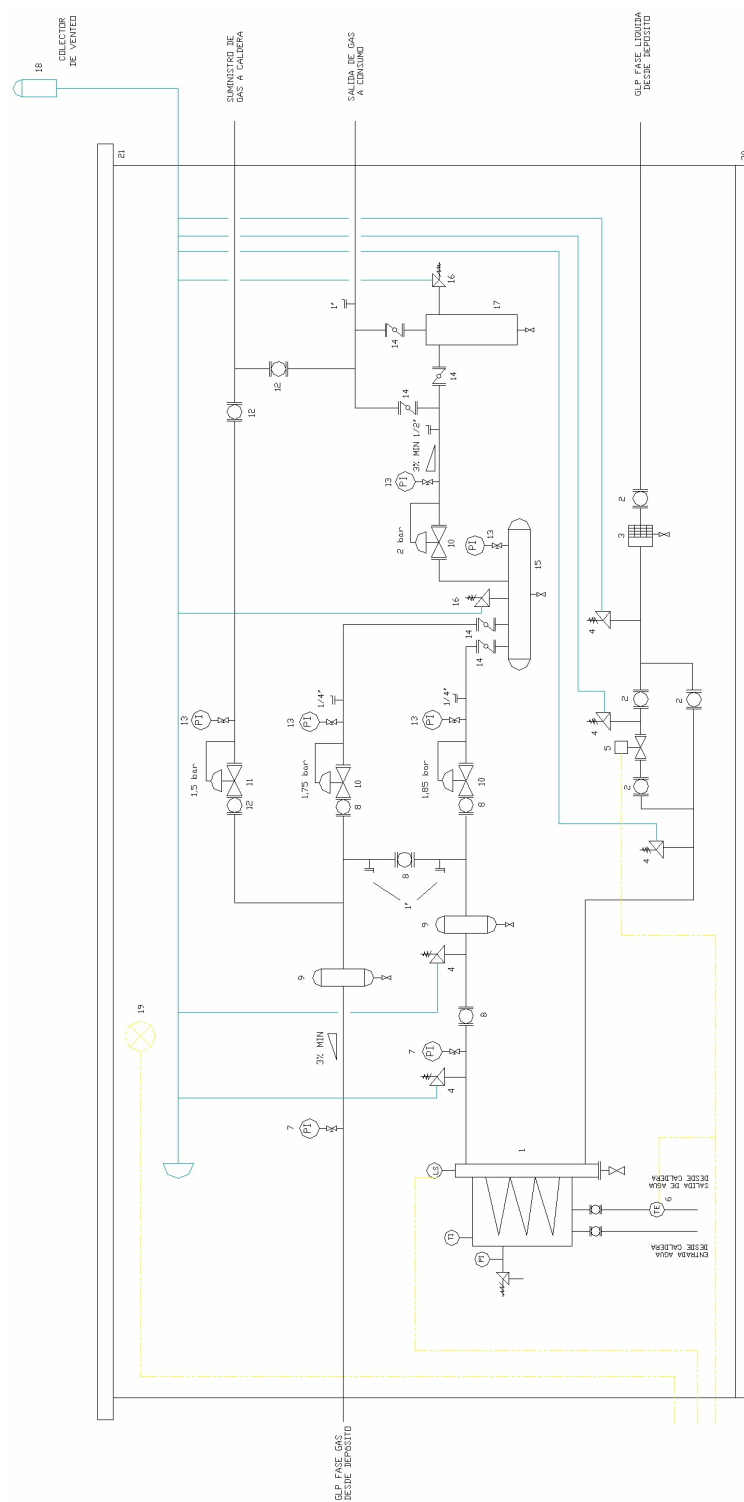


Figura E.1. Esquema de la central de vaporización



Item	Cantidad	Descripción	DN	PN
1	1	Vaporizador de la caldera	32x40	32
2	4	Válvula de corte embridada	32	40
3	1	Filtro y válvula de purga	32	40
4	5	Válvula de seguridad tarada a 20 bar	½"	
5	1	Electroválvula	25	40
6	1	Termostato		
7	2	Manómetro 0-25 bar y válvula de aguja	¼"	
8	4	Válvula de corte embridada	40	40
9	2	Calderín de condensados y válvula de purga	40	40
10	3	Regulador de presión	40	25
11	1	Regulador de presión de gas a caldera	25	25
12	3	Válvula de corte embridada	25	40
13	5	Manómetro 0-4 bar y válvula de aguja	¼"	
14	5	Válvula de mariposa	80	16
15	1	Colector y válvula de purga	80	16
16	2	Válvula de seguridad tarada a 5 bar	½"	
17	1	Decantador de 105 l y válvula de purga	80	16
18	1	Colector de venteo	40	
19	1	Alumbrado normal y de emergencia		
20	1	Chasis		
21	1	Caseta de chapa pintada		

**Tabla E.1.** Elementos del esquema de la central de vaporización



## E.2. Esquema de la central térmica

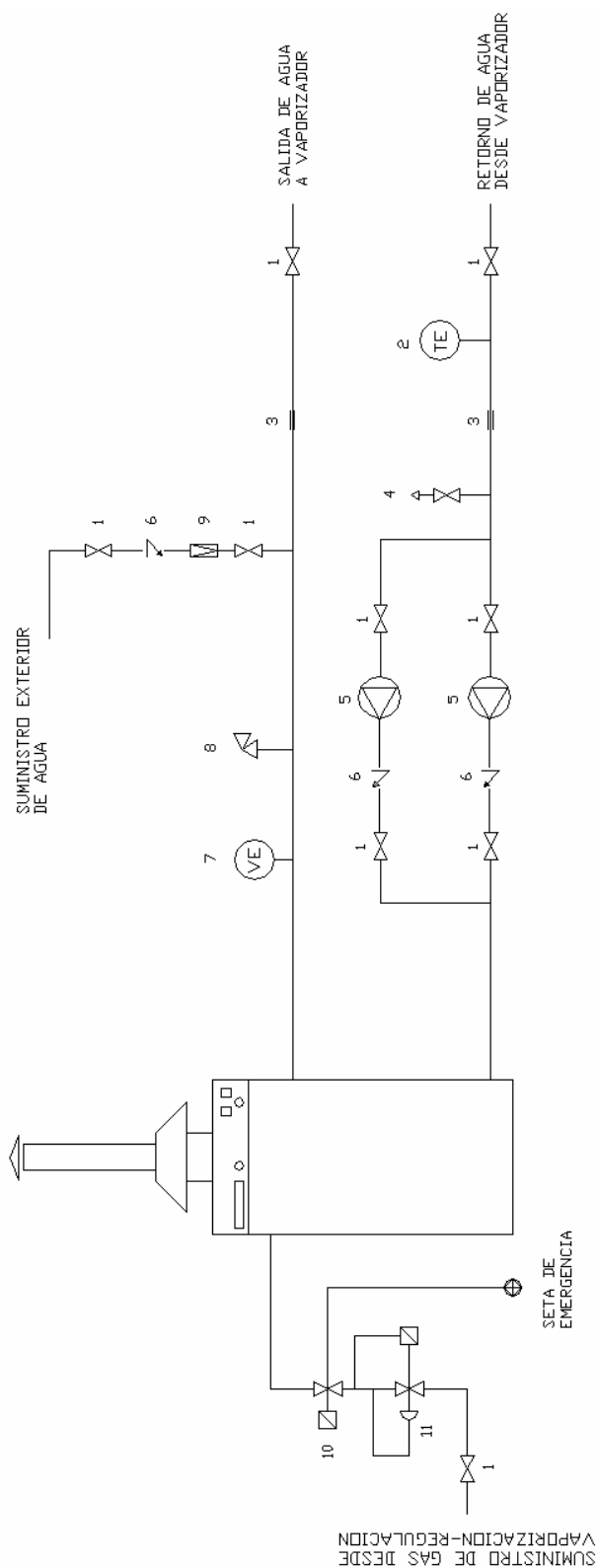


Figura E.2. Esquema de la central térmica

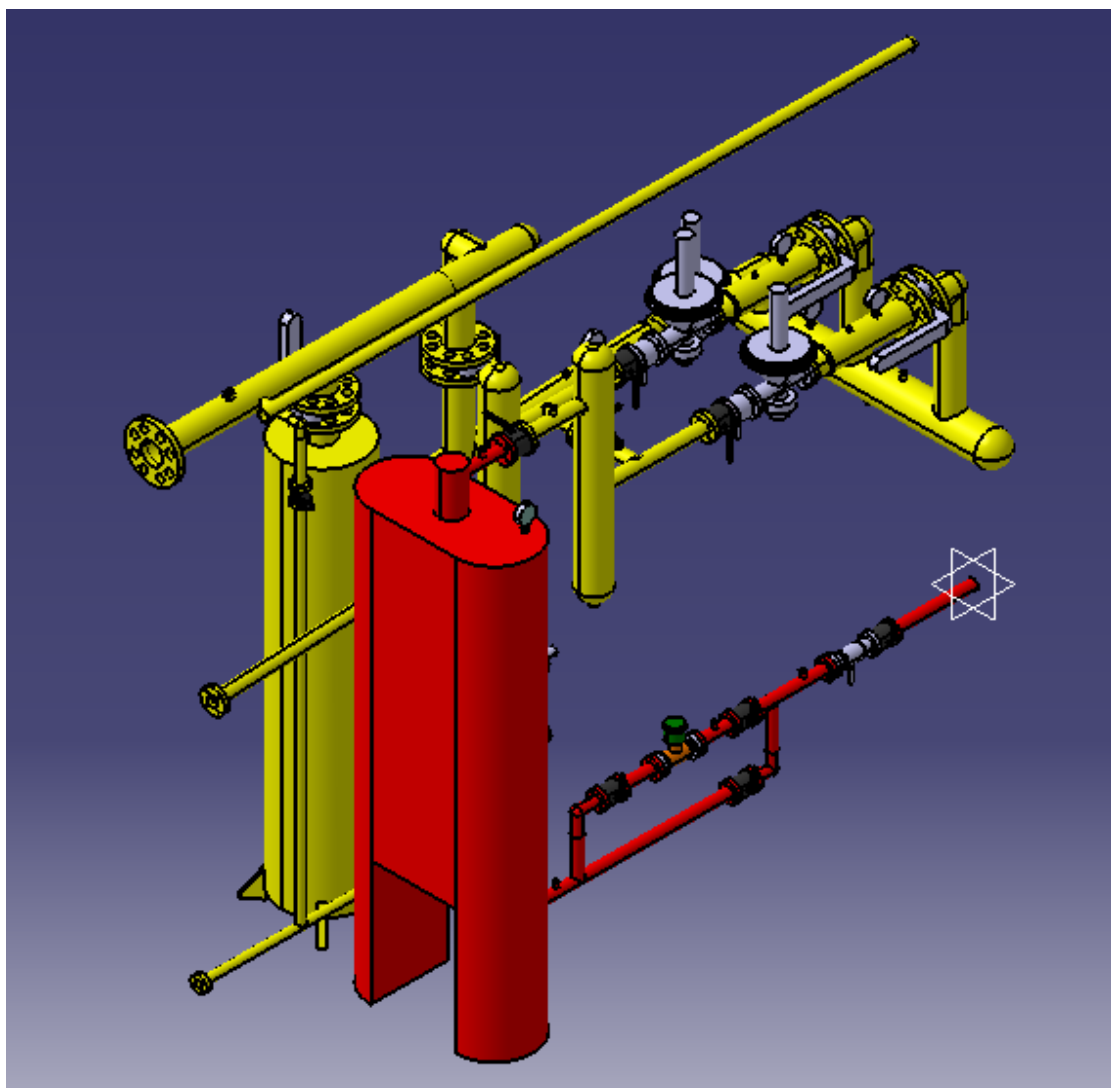


Item	Cantidad	Descripción
1	9	Válvula de corte
2	1	Termostato
3	2	Espacio sin aislante térmico para sensor de temperatura
4	1	Válvula de descarga
5	2	Bomba de recirculación
6	3	Válvula antirretorno
7	1	Vaso de expansión
8	1	Válvula de seguridad
9	1	Grupo de relleno de caldera
10	1	Válvula solenoide de rearme automático (NC)
11	1	Regulador de presión

**Tabla E.2.** Elementos del esquema de la central térmica

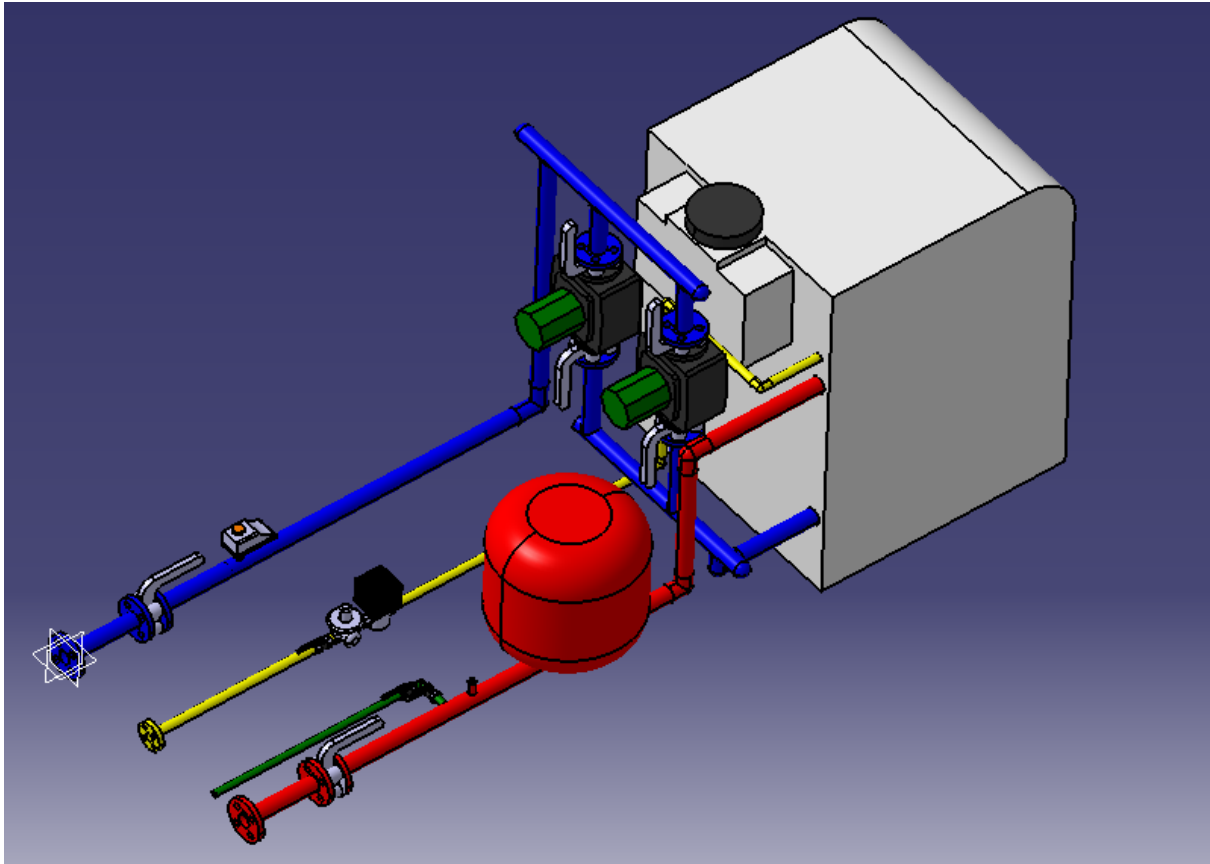


### E.3. Imagen tridimensional de la central de vaporización



**Figura E.3.** Central de vaporización

## E.4. Imagen tridimensional de la central térmica



**Figura E.4.** Central térmica

